



CEC
CCA
CCE

Transition des collectivités éloignées à l'énergie renouvelable



Citer comme suit :

CCE (2026). *Transition des collectivités éloignées à l'énergie renouvelable*, Montréal, Canada, Commission de coopération environnementale, 100 pages.

La présente publication a été rédigée par Rob Jordan, David Martínez Biro, María Teresa Aguirrezabala Cámpano et Rebecca Meadows pour le Secrétariat de la Commission de coopération environnementale. La responsabilité de l'information qu'elle contient incombe aux auteur·es, et cette information ne reflète pas nécessairement les vues de la CCE ou des gouvernements du Canada, du Mexique ou des États-Unis.

Le présent document peut être reproduit en tout ou en partie sans le consentement préalable du Secrétariat de la CCE, à condition que ce soit à des fins éducatives et non lucratives et que la source soit mentionnée. La CCE souhaiterait néanmoins recevoir un exemplaire de toute publication ou de tout écrit dont le présent document a servi de source.

Sauf indication contraire, le contenu de cette publication est protégé en vertu d'une licence Creative Commons : Attribution – Pas d'utilisation commerciale – Pas d'œuvre dérivée.



© Commission de coopération
environnementale, 2026

ISBN : 978-2-89700-428-6
Available in English
ISBN : 978-2-89700-426-2

Disponible en español
ISBN : 978-2-89700-427-9

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives
nationales du Québec, 2026
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives
Canada, 2026

Crédits Photos

La plupart des photographies figurant dans ce rapport ont été prises par l'équipe de la CCE et par *Dare to Know, LLC* lors de visites dans les communautés incluses dans cette étude. Nous remercions également les personnes suivantes pour nous avoir partagé leurs images :

Table des matières, Liste des tableaux et Liste des figures : BNA

Page 19: Northern Energy Capital

Page 34: Northern Energy Capital

Page 35: Northern Energy Capital

Page 36: Northern Energy Capital

Page 37: Northern Energy Capital

Page 38: Northern Energy Capital

Page 41: Sunstone Electric

Page 42: Sunstone Electric

Page 43: Sunstone Electric

Page 44: Sunstone Electric

Page 45: Sunstone Electric

Page 51: National Renewable Energy
Laboratory

Page 88: BNA

Page 90: Sunstone Electric

Page 92: Sunstone Electric

Renseignements sur la publication

Type de publication : publication de projet

Date de parution : mars, 2026

Langue d'origine : anglais

Processus d'examen et d'assurance de la
qualité :

Ultime examen par les parties : octobre, 2025
QA 413

Projet : Plan opérationnel 2022/Transition des
collectivités isolées à l'énergie renouvelable

Renseignements supplémentaires

Commission de coopération
environnementale

1001, boulevard Robert-Bourassa,
bureau 1620

Montréal (Québec) H3B 4L4

Canada

Tél. : 514 350-4300; téléc. : 438 701-1434

info@cec.org/www.cec.org

Table des matières

Résumé	9
Sommaire	10
Préface	11
Remerciements	12
1 Introduction	14
2 Études de cas au Canada	17
Vue d'ensemble	17
Fondée sur une vision, menée par la communauté : la transition énergétique stratégique du Bingwi Neyaashi Anishinaabek	20
Tirer parti de la rivière pour le bénéfice d'un peuple : projet d'aménagement hydroélectrique Innavik à Inukjuak	26
Honorer le passé, dynamiser l'avenir : l'héritage énergétique de la Première Nation des Kwanlin Dün	31
3 Études de cas aux États-Unis	37
Vue d'ensemble	37
L'union fait la force : transition énergétique du Northwest Arctic Borough à Shungnak et à Kobuk	39
Libérer le potentiel : surmonter les défis du miniréseau de Borrego Springs	45
Survivre grâce au soleil : la lumière revient à Toro Negro	52
4 Études de cas au Mexique	58
Vue d'ensemble	58
Méthodes fédérales d'expansion de l'approvisionnement énergétique hors réseau	60
Beau temps, mauvais temps : l'énergie solaire à la rescousse à Yoloxochio-Zongolica	69

Raccourcir les distances : la résilience énergétique à San José de Natora	75
Et la lumière fut : accès à l'énergie et coopération à Magdalena Aguilar	80
5 Thèmes communs de la transition des collectivités éloignées et autochtones d'Amérique du Nord vers l'énergie renouvelable	85
Bibliographie	91
Annexe : Politiques facilitant la mise en œuvre de projets d'électrification rurale	96
Canada	96
États-Unis	97
Mexique	98

Liste des tableaux

Tableau 1. Emplacement des communautés sélectionnées, par pays	15
Tableau 2. Résumé du projet de chauffage à la biomasse de Bingwi Neyaashi Anishinaabek	22
Tableau 3. Résultats des entrevues sur le système de chauffage à la biomasse de Bingwi Neyaashi Anishinaabek, par phase de développement du projet	23
Tableau 4. Résumé du projet d'aménagement hydroélectrique Innavik	27
Table 5. Résultats des entrevues sur le projet d'aménagement hydroélectrique Innavik, par phase de développement du projet	28
Tableau 6. Résumé du projet éolien de la colline Haeckel-Thay T'äw	32
Tableau 7. Résultats des entrevues sur le projet d'énergie éolienne de la colline Haeckel-Thay T'äw, par phase de développement du projet	33
Tableau 8. Résumé du projet réalisé à Shungnak et Kobuk	43
Tableau 9. Résultats des entrevues sur les systèmes en place à Shungnak et à Kobuk, par phase de développement du projet	44
Tableau 10. Résumé du projet de Borrego Springs	46
Tableau 11. Résultats des entrevues menées à Borrego Springs, par phase de développement du projet	47
Tableau 12. Résumé du projet de Toro Negro	54
Tableau 13. Résultats des entrevues menées à Toro Negro, par phase de développement du projet	55
Tableau 14. Hypothèses de dimensionnement des panneaux solaires et du SSEB pour chaque type de bâtiment relevant du FSUE	64

Tableau 15. Système installé pour chaque projet énergétique communautaire au Mexique dans le cadre du FSUE	65
Tableau 16. Coût d'un système individuel de panneaux PV et de SSEB pour chaque type de bâtiment visé par le FSUE	66
Table 17. Résumé du projet de Yolochochio-Zongolica	73
Tableau 18. Résultats des entrevues menées à Yolochochio-Zongolica, par phase de développement du projet	74
Tableau 19. Résumé du projet de San José de Natora	78
Tableau 20. Résultats des entrevues menées à San José de Natora, par phase de développement du projet	79
Tableau 21. Résumé du projet mis en œuvre à Magdaleno Aguilar	83
Tableau 22. Résultats des entrevues menées à Magdaleno Aguilar, par phase de développement du projet	84
Tableau 23. Types de systèmes d'énergie renouvelable dans les neuf communautés objet d'une étude de cas	86

Liste des figures

Figure 1. Processus de candidature du FSUE	61
Figure 2. Appareils et électroménagers qu'on trouve habituellement dans les communautés mexicaines après leur électrification	63
Figure 3. Types de projets d'énergie renouvelable, par coût et capacité installée, dans les neuf communautés objet d'une étude de cas	87

Liste des abréviations et des sigles

AVEC	Alaska Village Electric Cooperative
BNA	Bingwi Neyaashi Anishinaabek
CCE	Commission de Coopération Environnementale
CFE	<i>Comisión Federal de Electricidad</i> (Commission fédérale de l'électricité)
CNLP	Chu Níikwän Limited Partnership
CQEK	Commission de la qualité de l'environnement Kativik
DOE	<i>US Department of Energy</i> (Ministère de l'Énergie des États-Unis)
DTK	Dare to Know, LLC
EE	Exploitation et entretien
éq. CO₂	Équivalent dioxyde de carbone
FCPR	<i>Fundación Comunitaria de Puerto Rico</i> (Fondation communautaire de Porto Rico)
FSUE	<i>Fondo de Servicio Universal Eléctrico</i> (Fonds de service électrique universel)
IRENA	Agence internationale pour les énergies renouvelables
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-heure



MW	Mégawatt
NAB	<i>Northwest Arctic Borough</i> (Région nord-ouest de l'Arctique)
PCE	<i>Power Cost Equalization program</i> (Programme de péréquation des coûts de l'électricité)
PEI	Producteur d'électricité indépendant
PNKD	Première Nation des Kwanlin Dün
PV	Photovoltaïque
SDG&E	San Diego Gas & Electric
SENER	<i>Secretaría de Energía</i> (Ministère de l'Énergie du Mexique)
SSEB	Système de stockage d'énergie par batterie
USDA	<i>US Department of Agriculture</i> (Ministère de l'Agriculture des États-Unis)
W	Watt

Résumé

Les communautés éloignées et autochtones d'Amérique du Nord sont confrontées à des défis uniques en raison de leur isolement géographique, de leur climat rigoureux et de leurs infrastructures limitées; leur approvisionnement en électricité dépend souvent de génératrices diesel coûteuses et nuisibles à l'environnement. Dressé pour la Commission de coopération environnementale, le présent rapport analyse neuf études de cas au Canada, au Mexique et aux États-Unis et met en évidence des transitions réussies à l'énergie renouvelable dans des collectivités éloignées. Dans de nombreux cas, la collectivité elle-même a mené cette transition. S'appuyant sur de longues entrevues, des visites sur place et une collaboration structurée avec les membres des collectivités, l'étude compte l'autodétermination, l'autonomisation économique, la durabilité environnementale et l'innovation technologique comme thèmes centraux. Les gammes diversifiées de projets d'énergie renouvelable comprennent des systèmes hydroélectriques, des éoliennes, des miniréseaux d'énergie solaire et le chauffage à la biomasse. Elle illustre la façon dont chaque collectivité a exploité ses ressources locales et atouts culturels. Les principaux résultats incluent le besoin d'une participation précoce de la collectivité, de partenariats stratégiques, de mécanismes de financement flexibles et de mesures soutenues pour renforcer les capacités. Des approches sur mesure et de solides structures de gouvernance ont permis de surmonter les défis communs, tels que les obstacles financiers, la complexité logistique et les contraintes technologiques. Tout au long du rapport, de nombreux tableaux et figures résument en détail chaque projet et offrent des renseignements sur les collectivités et les phases critiques du développement des énergies renouvelables. Dans l'ensemble, les conclusions fournissent de précieuses orientations aux responsables des politiques, aux spécialistes de l'énergie et aux bailleurs de fonds qui souhaitent appuyer une transition énergétique durable et résiliente dans les communautés éloignées et autochtones.



Sommaire

Si les communautés éloignées et autochtones d'Amérique du Nord sont aux prises avec certains des défis énergétiques et climatiques les plus difficiles du continent, elles sont également à l'avant-garde de certaines des plus importantes solutions énergétiques. Le présent rapport présente neuf collectivités au Canada, aux États-Unis et au Mexique qui tracent leur propre voie vers l'indépendance énergétique grâce à des systèmes locaux d'énergie renouvelable.

- **Canada** : projet d'aménagement hydroélectrique Innavik (Inukjuak, Québec), projet d'énergie éolienne de la colline Haeckel-Thay T'äw (Whitehorse, Yukon) et projet de chauffage à la biomasse Bingwi Neyaashi Anishinaabek (lac Nipigon, Ontario).
- **Mexique** : panneaux solaires à Yoloxochio (Zongolica, Veracruz), San José de Natora (Sahuaripa, Sonora) et Magdalena Aguilar (Llera, Tamaulipas).
- **États-Unis** : panneaux solaires et stockage d'énergie par batterie à Shungnak et à Kobuk (Alaska), miniréseau d'énergie solaire à Borrego Springs (Californie) et miniréseau d'énergie solaire à Toro Negro (Porto Rico).

Les études de cas présentées dans notre rapport sont bien plus que des exemples d'installations dotées de nouvelles technologies. Ce sont des récits d'autodétermination, dans des collectivités qui mettent en œuvre des projets reflétant leurs valeurs, leurs priorités et leurs objectifs à long terme. Qu'il s'agisse d'un projet hydroélectrique géré par les Inuits dans le Nord-du-Québec, d'éoliennes appartenant à un gouvernement des Premières Nations au Yukon ou de miniréseaux et panneaux solaires hors réseau dans des régions reculées de l'Alaska et du Mexique, chaque projet illustre ce qu'il est possible de réaliser lorsque le développement énergétique a des racines locales et qu'il est mené par des personnes locales.

Ces projets ont permis de réduire la consommation de diesel, de réduire les émissions de carbone et de créer des emplois locaux. Par-dessus tout, ils ont remis le contrôle des systèmes énergétiques aux collectivités qu'ils desservent. Les transitions n'ont pas toujours été faciles, mais on peut en tirer des enseignements communs : le succès dépend de partenariats de confiance, d'un financement flexible et d'un soutien technique qui évolue avec le projet.

Afin d'éclairer les activités futures, ce rapport décrit également comment les collectivités passent par les différentes étapes de la transition énergétique, de la planification initiale à l'exploitation à long terme. Il peut servir d'outil aux bailleurs de fonds, aux gouvernements et aux spécialistes de l'énergie qui souhaitent inclure les collectivités dans ces projets, et non pas les exclure.

Ces neuf collectivités sont plus qu'une source d'inspiration : elles montrent la voie à suivre. Elles nous rappellent que les progrès réels en matière d'équité climatique et énergétique ne se mesurent pas uniquement en mégawatts et en dollars. Ils se mesurent en relations, en respect et en investissements durables dans les personnes et les lieux.

Préface

Les communautés éloignées et autochtones d'Amérique du Nord ont toujours été confrontées à d'importants défis liés à leur isolement géographique, à leur insécurité énergétique et à leur dépendance aux combustibles fossiles coûteux. Consciente de l'urgence de relever ces défis, la Commission de coopération environnementale a commandé le présent rapport afin de documenter et d'analyser les transitions réussies à l'énergie renouvelable dans ces communautés. Nous avons entrepris ce travail afin de fournir de précieuses informations, de tirer des enseignements concrets et de proposer des modèles reproductibles aux responsables des politiques, aux spécialistes de l'énergie, aux organismes de financement et aux collectivités qui visent elles aussi l'indépendance énergétique et la résilience. Ce rapport met en lumière divers projets d'énergie renouvelable conçus pour répondre aux besoins et aux priorités des collectivités. Il souligne l'importance de l'autodétermination, des stratégies culturellement adaptées et du développement économique durable. Il vise à favoriser une meilleure compréhension de la complexité et des possibilités de la transition énergétique dans les régions éloignées. À terme, il veut appuyer des mesures à plus grande échelle en matière de résilience climatique et d'accès équitable à l'énergie partout en Amérique du Nord.



Remerciements

Ce rapport est le fruit de la collaboration et de la générosité des collectivités, organisations et personnes qui ont donné de leur temps et partagé leurs expériences et connaissances tout au long du processus de recherche et d'entrevue.

Nous tenons à remercier tout particulièrement le comité directeur du projet et les organismes de soutien dont l'expertise et les commentaires ont permis de renforcer l'orientation et l'objectif du présent rapport. Il s'agit notamment des représentant·es des organismes suivants :

- Ressources naturelles Canada
- Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada
- *Secretaría de Energía* (ministère de l'Énergie du Mexique)
- *Comisión Federal de Electricidad* (Commission fédérale de l'électricité du Mexique)
- *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático* (Institut national de l'écologie et des changements climatiques du Mexique)
- *US Environmental Protection Agency* (EPA, Agence de protection de l'environnement des États-Unis)

Nous remercions **les leaders communautaires, les résident·es et les partenaires du projet** dans les neuf lieux étudiés, qui ont généreusement partagé leurs histoires et ouvert leurs portes à notre équipe :

- **Bingwi Neyaashi Anishinaabek (Ontario, Canada)** : merci aux leaders communautaires, au personnel administratif, aux représentant·es de la scierie Papasay et à TBT Engineering Limited d'avoir partagé leur vision à long terme et leur leadership en matière d'énergie issue de la biomasse.
- **Inukjuak (Québec, Canada)** : merci à la Pituvik Landholding Corporation, à l'équipe du projet d'aménagement hydroélectrique Innavik et à Innergex Renewable Energy Inc. De leur collaboration et leur transparence.
- **Whitehorse (Yukon, Canada)** : merci à Northern Energy Capital, Chu Níikwän LP, Eagle Hill Energy LP et Énergie Yukon ainsi qu'aux leaders de la Première Nation des Kwanlin Dün de leurs idées sur la gouvernance des projets d'énergie renouvelable.
- **Shungnak et Kobuk (Alaska, États-Unis)** : merci aux leaders locaux de la région et à Ingemar Mathiasson de leur engagement en matière de résilience énergétique et de coordination intercommunautaire.
- **Borrego Springs (Californie, États-Unis)** : merci à San Diego Gas & Electric et aux membres des collectivités locales de leurs réflexions sur la mise en place de miniréseaux et de leur impact sur la communauté.
- **Toro Negro (Porto Rico, États-Unis)** : merci aux leaders communautaires, à la

Comunidad Toro Negro, à la Fundación Comunitaria de Puerto Rico et à Somos Solar d'avoir fait des modèles de souveraineté énergétique une réalité.

- **Yoloxochio (Veracruz, Mexique)** : aux leaders et aux résident-es de la communauté de leur persévérance et de leur ouverture face aux défis que présentent les installations solaires hors réseau.
- **San José de Natora (Sonora, Mexique)** : merci aux membres de la collectivité, aux éducateur-rices et aux autorités locales d'avoir partagé leurs expériences de l'accès à l'énergie et de l'entretien des systèmes.
- **Magdaleno Aguilar (Tamaulipas, Mexique)** : merci aux résident-es de leur engagement et leurs idées à propos de l'électrification d'origine solaire en région rurale.

Nous remercions tout spécialement toutes les personnes qui ont participé aux entrevues, partagé des photos ou accueilli des visites dans le cadre du projet. Vos témoignages, vos connaissances et votre expérience ont façonné ce rapport et lui ont donné vie.

Nous tenons également à souligner la contribution des collaborateur-rices de recherche de Dare to Know, LLC, ainsi que le soutien des partenaires de la *Global Initiative on Transitioning Remote Communities to Renewable Energy* (Initiative mondiale pour la transition des collectivités éloignées à l'énergie renouvelable), promue par l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA).

Ce rapport est présenté dans un esprit de respect et de réciprocité. Toute erreur ou omission relève de la responsabilité des auteur-es, et nous sommes ouverts à un dialogue continu avec toutes les communautés participantes.



1. Introduction

Le projet mondial Transition des collectivités éloignées à l'énergie renouvelable présente les stratégies visant à faire passer les communautés éloignées d'Amérique du Nord à des sources d'énergie plus propres et plus fiables. En collaboration avec la Commission de coopération environnementale (CCE) et l'Agence internationale pour les énergies renouvelables, et avec les conseils stratégiques de représentant·es techniques et politiques du Canada, des États-Unis et du Mexique, l'équipe du projet Dare to Know, LLC (DTK) a consulté neuf collectivités éloignées de la région qui ont mis en œuvre des projets d'énergie renouvelable (tableau 1). Le présent rapport décrit ces projets tout au long de leur mise en œuvre et résume les enseignements tirés par ces communautés. La carte montre l'emplacement des communautés objet des études de cas.





Tableau 1. Emplacement des communautés sélectionnées, par pays



Canada

Bingwi Neyaashi
Anishinaabek
(Ontario)

Inukjuak
(Québec)

Whitehorse
(Yukon)



États-Unis

Borrego Springs
(Californie)

Shungnak y Kobuk
(Alaska)

Toro Negro
(Puerto Rico)



Mexique

Magdaleno Aguilar
(Tamaulipas)

San José de Natora
(Sonora)

Yoloxochio
(Veracruz)

Dans les collectivités éloignées, la géographie, le climat et les infrastructures disponibles compliquent la production d'énergie. En effet, l'isolement, le relief accidenté, des conditions météorologiques extrêmes ainsi que d'autres facteurs rendent difficiles et coûteux la construction et l'entretien de systèmes de production d'énergie. Le transport des matériaux et des équipements vers ces lieux isolés exige souvent une logistique spécialisée : le transport aérien, les routes de glace ou les barges rendent ces projets énergétiques nettement plus coûteux et plus complexes. Comme nombre de ces collectivités n'ont pas accès au réseau électrique principal, elles dépendent de génératrices diesel coûteuses et polluantes. Dans le présent rapport, nous définissons les collectivités éloignées comme celles qui sont isolées sur le plan géographique, infrastructurel ou fonctionnel, par exemple en matière d'énergie, de transport ou de communication, par rapport aux systèmes centralisés. Un tel isolement entraîne des difficultés persistantes au chapitre de la fiabilité, de l'abordabilité ou de l'accès aux services.

Les facteurs socioéconomiques ajoutent à cette complexité. Les collectivités éloignées ont souvent une faible population, de manière à limiter la faisabilité économique de projets énergétiques à grande échelle. Les coûts initiaux élevés et les longs délais de recouvrement peuvent dissuader les investisseurs. De plus, les petites communautés ne disposent pas forcément de l'expertise technique et de la main-d'œuvre nécessaires pour installer, exploiter et entretenir des systèmes énergétiques évolués. Elles ont donc besoin de soutien et de formation externes en permanence.

Malgré ces défis, des possibilités d'innovation et de collaboration existent. Les principaux résultats des neuf études de cas présentées dans ce rapport font ressortir des thèmes communs à tous les projets énergétiques communautaires, notamment la participation à l'échelle locale au développement des projets, la durabilité environnementale, l'autonomisation économique, l'innovation technologique et l'importance culturelle. Chaque projet montre comment les collectivités peuvent surmonter les défis inhérents à la production d'énergie en régions éloignées en exploitant les ressources locales, en encourageant les membres de la communauté à participer et en mettant en œuvre des solutions adaptées à leurs besoins et à leur situation particulière. Ces neuf projets illustrent comment les collectivités éloignées peuvent mettre en place une production d'énergie durable et résiliente.

Les chapitres suivants présentent les résumés des projets énergétiques et les principaux résultats relatifs aux collectivités objet d'une étude de cas, classés par ordre géographique du nord au sud : Canada, États-Unis et Mexique. Le chapitre 5 aborde les thèmes communs à tous les projets étudiés.

2. Études de cas au Canada

Vue d'ensemble

Il existe plus de 200 collectivités éloignées à l'échelle du Canada, dont plus des trois quarts sont autochtones. La plupart d'entre elles ne sont pas raccordées au réseau électrique nord-américain et utilisent des combustibles fossiles, comme le diesel, pour le chauffage et l'électricité. Un approvisionnement énergétique fiable est essentiel à la sécurité de ces collectivités, en raison de leur éloignement et de leur climat froid. Or, leur éloignement et les conditions extrêmes créent des problèmes logistiques pour la sécurité et la fiabilité du transport du combustible, qui dépend souvent des routes de glace hivernales, de barges et d'avions-citernes.



Si le diesel est une source d'énergie fiable, son utilisation comporte des inconvénients, au-delà des défis logistiques liés à sa livraison à des endroits éloignés. L'utilisation du diesel a un effet négatif sur l'environnement en raison des émissions de gaz à effet de serre et de la pollution atmosphérique locale. Il crée en outre un risque de contamination par des déversements potentiels de carburant pendant son transport, son stockage et l'exploitation des génératrices. Les fluctuations du cours du diesel et le coût élevé du transport vers les régions éloignées imposent des coûts élevés aux communautés, aux gouvernements et aux contribuables pour l'exploitation et l'entretien des systèmes de production d'électricité au diesel.

Les besoins énergétiques varient dans les collectivités éloignées du Canada, en fonction de leurs priorités et de leurs capacités financières, techniques et organisationnelles. Dans la plupart des cas, elles exploitent leur propre miniréseau. Les projets de production d'énergie à grande échelle sont rarement rentables, en raison des coûts initiaux élevés et des défis logistiques liés à la construction d'infrastructures en région éloignée. Dans les territoires nordiques du Nunavut, du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest, très peu de contribuables et de consommateurs soutiennent l'exploitation et l'entretien des systèmes énergétiques, ce qui complique la rentabilité des grands projets.

Des conditions climatiques extrêmes, comme de fortes chutes de neige et l'accumulation de glace et des périodes d'obscurité prolongées, compliquent l'intégration de systèmes d'énergie renouvelable dans les miniréseaux existants alimentés au diesel. De telles conditions peuvent accroître la variabilité de l'approvisionnement en énergie provenant de technologies renouvelables alimentées par le vent, l'eau et le soleil, et mettre en danger la sécurité et la fiabilité de l'approvisionnement énergétique d'une collectivité. L'intégration des technologies d'énergie renouvelable exige une planification minutieuse et une adaptation aux conditions locales afin de garantir la durabilité, la sécurité et la fiabilité des systèmes de production d'énergie éloignés.

En réponse aux objectifs du Canada d'atteindre une économie zéro émission nette d'ici 2050, un certain nombre de programmes fédéraux, provinciaux et territoriaux ont été mis en place. Ils incluent le programme Énergie propre pour les collectivités rurales et éloignées et le programme Approche responsable pour le développement énergétique des collectivités du Nord, entre autres. Ces mesures visent à aider les collectivités éloignées et autochtones à adopter des sources d'énergie propres pour le chauffage et l'électricité. Ces mesures s'inscrivent dans le cadre de stratégies à plus grande échelle, comme le Cadre stratégique pour l'Arctique et le Nord, qui définit une orientation à long terme en matière de résilience des infrastructures et d'autodétermination des Autochtones dans le Nord. Plus de détails sur ces politiques et structures de financement se trouvent en annexe.



Le processus de collecte de renseignements au Canada s'est concentré sur trois collectivités éloignées du territoire du Yukon et des provinces de l'Ontario et du Québec, qui sont en pleine transition vers l'énergie renouvelable. L'objectif des entrevues était de comprendre les retombées économiques, l'impact environnemental et l'incidence sociale des projets communautaires en matière d'énergie renouvelable, les principaux défis que posent ces projets et le rôle de la gouvernance locale dans leur mise en œuvre.



Fondée sur une vision, menée par la communauté : la transition énergétique stratégique du Bingwi Neyaashi Anishinaabek

« Nous avons bâti ceci avec une petite équipe et une vision claire. D'autres Premières Nations le peuvent aussi, mais il faut de la persévérance et un engagement communautaire. »

Paul Gladu, chef de la nation Bingwi Neyaashi Anishinaabek

Bingwi Neyaashi Anishinaabek (que nous appelons « BNA ») s'appelait auparavant Première Nation de Sand Point. Communauté de petite taille, mais résiliente, elle occupe la rive sud-ouest du lac Nipigon, en Ontario. Elle compte environ 250 membres, qui maintiennent des liens étroits avec la forêt boréale avoisinante et les eaux cristallines du lac – ressources qui demeurent essentielles à la culture, à l'économie et à la vie quotidienne de la communauté.

Le fait que la communauté soit éloignée (à plus d'une heure de route du centre urbain le plus proche, en rase campagne) a posé des problèmes de développement des infrastructures, d'accès aux services et de croissance économique. Parallèlement, cet éloignement a stimulé un esprit d'innovation et un désir d'autonomie, et créé un lien profond avec le lieu de vie.



Pendant des décennies, BNA a subi les conséquences des politiques coloniales qui ont chassé ses membres de leur territoire traditionnel, laissant la Nation sans territoire ni reconnaissance juridique. Ce déplacement a perturbé la gouvernance, la continuité culturelle et le développement économique. Ces dernières années, cependant, BNA a fait des progrès remarquables pour reconquérir ses terres et revitaliser son économie locale.

La scierie Papasay, seule entreprise en activité à Sand Point à l'heure actuelle, joue un rôle central dans cette revitalisation. Elle transforme le bois local et crée des emplois à l'année pour les membres de la communauté. Elle fournit également du combustible pour le nouveau système de chauffage à la biomasse de BNA, qui utilise les résidus de la scierie pour chauffer habitation et bâtiments communautaires. Avant la mise en place de ce système de chauffage à l'échelle du secteur, les travailleur·euses devaient supporter des températures glaciales qui atteignent parfois -40 °C, avec pour seule source de chauffage des radiateurs diesel fournis gratuitement. Ceux-ci étaient non seulement insuffisants, mais aussi très polluants.

Le nouveau système à la biomasse a considérablement amélioré les conditions de travail et la résilience énergétique. Même si BNA est connecté au réseau électrique grâce à la ligne A4L, cette longue ligne de transport radiale n'est pas fiable et subit fréquemment des pannes de courant prolongées. Ces pannes posent de sérieux défis en hiver dans les maisons qui se chauffent par plinthes électriques. Le système à la biomasse offre une alternative plus sûre et plus durable pour le chauffage, et va dans le sens des objectifs plus larges de BNA en matière de sécurité énergétique et d'autosuffisance.

Parallèlement à ses projets d'énergie renouvelable, BNA a développé son environnement bâti ces dernières années. La communauté compte désormais 25 logements, un centre communautaire et d'autres installations essentielles, qui s'inscrivent tous dans une vision plus large de développement durable à l'échelle locale.

Résumé du projet de transition énergétique

Le parcours de BNA en matière d'énergie renouvelable reflète une vision à long terme de l'intendance environnementale, de la préservation culturelle et de l'autonomisation économique. La communauté a mis en œuvre le projet de système de chauffage à la biomasse pour la scierie de Bingwi Neyaashi Anishinaabek. Il s'agit d'un projet transformateur visant à remplacer le système de chauffage au diesel de la scierie par un système à la biomasse alimenté par des déchets de bois provenant de sources locales. Ce projet a consisté en l'installation d'une chaudière à biomasse Froling T4 de 150 kilowatts (kW) dans un conteneur d'expédition. Le tableau 2 présente un résumé du projet.

Tableau 2. Résumé du projet de chauffage à la biomasse de Bingwi Neyaashi Anishinaabek

Détails du projet	Description
Technologie	Système de chauffage à la biomasse
Capacité installée	150 kW
Échéancier	Planification : automne 2017 – automne 2019 Construction : novembre 2019 à mars 2020
Coût total	1,05 million \$ CA (734 800 \$ US) (ICE Network, 2020)
Sources de financement	1,05 million \$ CA provenant du programme Énergie propre pour les collectivités rurales et éloignées
Responsable du projet et principaux partenaires	Conseil de BNA, programme Énergie propre pour les collectivités rurales et éloignées, Ressources naturelles Canada, entrepreneurs locaux
Structure de propriété	BNA est l'unique propriétaire exploitant.
Retombées du projet	<ul style="list-style-type: none"> • Le projet a soutenu la bioéconomie locale grâce à l'utilisation à valeur ajoutée des déchets de scierie, tout en évitant la consommation d'environ 13 000 litres de diesel par an, ce qui représente une économie annuelle estimée de 26 000 \$ CA (TBT Engineering Limited, communication personnelle, 8 janvier 2025). • Le projet a permis de réduire les émissions d'environ 34,84 t d'équivalent dioxyde de carbone (éq. CO₂) par an, en passant du diesel à la biomasse pour chauffer la scierie Papasay. • Les membres du Conseil de BNA et le personnel de la scierie Papasay ont acquis de l'expérience dans le domaine des systèmes à la biomasse. Cette expérience a permis d'élaborer un projet de chauffage urbain à l'échelle de la communauté, dont la construction débutera en 2025.



Tableau 3. Résultats des entrevues sur le système de chauffage à la biomasse de Bingwi Neyaashi Anishinaabek, par phase de développement du projet

Phase de développement du projet

Principaux résultats

Planification

- Les membres de la communauté ont participé à la définition des priorités, au zonage des secteurs à développer et à l’harmonisation du projet d’énergie renouvelable avec les objectifs de la communauté.
- BNA a organisé quatre ou cinq assemblées générales par an afin d’informer et de mobiliser les membres de la communauté.
- BNA a mis en place une structure de gouvernance pour superviser le projet et ainsi assurer la transparence et la responsabilisation.

Sélection et approvisionnement de la technologie

- L’utilisation de copeaux de bois provenant des déchets de la scierie pour alimenter le système de chauffage à la biomasse respecte l’économie de BNA fondée sur les ressources.
- La collaboration avec des partenaires clés, comme Ressources naturelles Canada, a assuré la faisabilité technique et financière du projet.
- La communauté a opté pour la technologie de la biomasse avant de collaborer avec des ingénieurs pour concevoir le système.

Financement et permis

- Ressources naturelles Canada a offert des contributions non remboursables par l’intermédiaire du programme Énergie propre pour les collectivités rurales et éloignées.
- Aucun permis n’était requis, le projet se trouvant sur un territoire autochtone autonome.

Installation et mise en service

- L’installation du système à la biomasse a constitué une étape importante pour BNA.
- La communauté a pallié son manque d’expertise interne en matière de systèmes à la biomasse en engageant la firme TBT Engineering. Cette dernière a agi comme gestionnaire de projet et fournira des conseils techniques tout au long du cycle de vie du projet.
- La gestion simultanée de plusieurs projets a causé des ennuis à BNA. TBT Engineering a atténué ces problèmes. La firme a supervisé la coordination du projet et veillé au respect des délais. Des réunions régulières entre BNA, TBT et l’entrepreneur ont permis de respecter l’échéancier.
- Afin de gérer l’intégration de plusieurs technologies, on a retenu Biothermic, un entrepreneur local, au terme d’un appel d’offres concurrentiel. L’entreprise a fourni des réponses rapides aux problèmes techniques et assuré la disponibilité des pièces de rechange à l’échelle locale.
- L’assistance technique sur place pendant l’installation (fournie par Art Gladu, monteur de machinerie de métier) a permis de rapidement résoudre les problèmes d’installation.

Exploitation

- Biothermic (l’installateur) a formé un opérateur et continue d’assurer le dépannage à distance.

Principaux résultats

Le parcours de BNA dans le domaine de l'énergie renouvelable témoigne à la fois d'une planification stratégique, d'une détermination collective et d'une collaboration efficace. Ce projet a suscité un sentiment d'accomplissement collectif – de nombreux membres de la communauté y voient une étape importante dans le cheminement de BNA vers la reconquête de ses terres et de ses ressources. Le tableau 3 résume les principaux résultats des entrevues, par phase de développement du projet.

Le parcours de BNA démontre le pouvoir de l'autodétermination, de la vision et des partenariats stratégiques pour stimuler la transformation énergétique communautaire. Son évolution (de la biomasse issue de la scierie au projet de chauffage pour l'ensemble de la communauté) reflète une approche intentionnelle envers la croissance, fondée sur la planification et la durabilité. Les entrevues menées avec les membres de BNA ont mis en évidence des enseignements précis :

- La vision et l'engagement communautaires sont essentiels. Le succès du projet repose sur l'unité de la communauté de BNA. Grâce à des sondages, des tribunes ouvertes et des ateliers réguliers, le Conseil de BNA s'est assuré de prendre en compte les priorités de la communauté afin de déterminer les résultats du projet. Par exemple, un participant a souligné que les discussions entourant l'attribution des ressources avaient entraîné la refonte de certains aspects du système afin de mieux répondre aux besoins de la communauté. Voilà qui illustre les effets concrets de cette participation. Comme l'a déclaré le chef Paul Gladu : « Nous n'avons pas simplement construit un système de chauffage, nous avons insufflé de la confiance et une vision commune pour notre avenir ».
- L'accès à des fonds et à l'expertise a été crucial pour la réussite du projet. L'obtention d'un financement fiable a constitué un obstacle majeur. La collaboration avec des organisations comme Ressources naturelles Canada a été inestimable, non seulement pour le soutien financier, mais aussi pour l'accès à l'expertise technique. Comme l'a déclaré un des responsables du projet : « Devant des ressources limitées, nos partenariats nous ont donné l'élan nécessaire pour continuer ».
- Il faut de la patience et de la persévérance pour surmonter les tracasseries administratives liées au financement. Les plaidoyers stratégiques du Conseil de BNA ont fait en sorte que le projet a suivi les processus de planification complexes tout en restant fidèle à la vision de la communauté.

Pour l'avenir, les leaders de BNA veulent finaliser la conception du système de chauffage à la biomasse du secteur et obtenir son financement complet. Ce système offrira à l'ensemble de la communauté du chauffage propre et de source locale. La communauté planifie ou exécute déjà les étapes suivantes :

- Le Conseil a entrepris des démarches pour obtenir un financement auprès de l'Autorité financière des Premières Nations. Il s'appuie sur sa certification en gestion financière et renforce ainsi sa capacité à soutenir des projets d'infrastructure.
- On s'emploie par ailleurs à élaborer un rigoureux plan d'exploitation et d'entretien pour le système de chauffage secteur pour assurer sa fiabilité à long terme.
- BNA reconnaît que la mobilisation des jeunes est essentielle à la réussite du projet. La communauté propose donc des formations dans les domaines de la foresterie, de la construction et de l'exploitation des systèmes. Elle souhaite ainsi préparer la prochaine génération à perpétuer l'héritage de BNA en matière d'énergie et de gouvernance.



Tirer parti de la rivière pour le bénéfice d'un peuple : projet d'aménagement hydroélectrique Innavik à Inukjuak

« Je pense qu'il est très important, pour un projet comme celui-ci mené par les Inuits, de partir de la base, c'est-à-dire que la communauté dirige le projet. Je vois mon peuple se prendre en main et réaliser ses propres idées. »

Tommy Palliser, président, Pituvik Landholding Corporation

Inukjuak est une communauté inuite éloignée située sur la rive de la baie d'Hudson, dans la région du Nunavik, au nord du Québec. Selon le recensement canadien de 2021, la population s'élevait à 1 805 habitants, dont environ 99 % s'identifient comme Inuits. Le climat subarctique de cette région se caractérise par des hivers longs et rigoureux et des étés courts et frais, ce qui rend difficile le développement des infrastructures et l'approvisionnement en carburant. Aucune route de dessert Inukjuak; la communauté dépend donc des transports aériens et maritimes saisonniers, ce qui accentue son isolement logistique.

L'économie locale repose principalement sur l'emploi dans le secteur public, le commerce de détail à petite échelle et les activités traditionnelles de récolte, notamment la pêche et la chasse. Les liens culturels profonds avec la terre, la langue et les traditions inuites continuent de façonner la vie et l'identité de la communauté. La Pituvik Landholding Corporation (figure 5) joue un rôle clé dans la représentation des intérêts de la communauté et la promotion des priorités locales, notamment grâce aux travaux de transition vers des systèmes énergétiques plus propres et plus durables.





Tableau 4. Résumé du projet d'aménagement hydroélectrique Innalik

Détails du projet	Description
Technologie	Barrage hydroélectrique au fil de l'eau
Capacité installée	7,5 MW (Innergex Renewable Energy Inc., 2020)
Échéancier	2016 (lancement) – 2023 (achèvement) (Innergex Renewable Energy Inc., s. d.)
Coût total	127 millions \$ CA (89 millions \$ US) (Innergex Renewable Energy Inc., 2020)
Prix de l'énergie au contrat	0,19 \$/kWh* (0,14 \$ US/kWh) (Innalik Hydro et Hydro-Québec Distribution, 2019)
Sources de financement	<ul style="list-style-type: none"> • Combinaison de dettes liées au projet et d'apports en capitaux propres par Innergex et de la Pituvik Landholding Corporation. • Les dettes liées au projet ont couvert de 75 à 85 % du coût total (95 à 108 millions \$ CA), grâce à un financement sans recours (Innergex Renewable Energy Inc., 2020). • Les apports en capitaux propres ont totalisé environ 35 millions \$ CA, répartis à égalité de parts : les 17,5 millions \$ CA de Pituvik ont été entièrement financés par des subventions gouvernementales (de 60 à 65 % venant du fédéral et de 35 à 40 %, du provincial) (Innergex Renewable Energy Inc., 2020). • Innergex a mis 17,5 millions \$ CA en capital-investissement (Innergex Renewable Energy Inc., 2020).
Responsable du projet et partenaires clés	Innergex, gouvernement régional du Nunavik, Commission de la qualité de l'environnement Kativik (CQEK), Pituvik Landholding Corporation (Innergex Renewable Energy Inc., 2020; Pituvik Landholding Corporation, 2024).
Structure de propriété	Modèle de partenariat à égalité de parts entre Innergex et Pituvik Landholding Corporation (Innergex Renewable Energy Inc., 2020).
Retombées du projet	<ul style="list-style-type: none"> • Le projet a permis de réduire de 80 % la dépendance au diesel. • Environ 700 000 tonnes d'émissions d'éq. CO₂ seront évitées au cours des 40 années de durée de vie du projet (Innergex Renewable Energy Inc., s. d.). • La régulation du débit d'eau améliore les habitats piscicoles en aval (Pituvik Landholding Corporation, 2024). • Le projet a créé des emplois locaux et renforcé les capacités pour la construction et l'exploitation du projet (Innergex Renewable Energy Inc., s. d.). • Les recettes annuelles prévues de 8,6 millions \$ CA soutiendront des projets communautaires (Innalik Hydro, 2020).

* On a obtenu le taux de 0,19 \$ CA/kWh en divisant le coût total de l'énergie fixée par contrat par la quantité d'énergie dont la livraison est prévue pendant la durée du contrat. Les valeurs réelles peuvent varier, mais cela donne une estimation raisonnable du tarif effectif de l'accord d'achat d'énergie.

Table 5. Résultats des entrevues sur le projet d'aménagement hydroélectrique Innavik, par phase de développement du projet

Phase de développement du projet	Principaux résultats
Planification	<ul style="list-style-type: none"> • L'engagement communautaire a souligné la prise de décisions et la participation à l'échelle locale. Les leaders de Pituvik ont priorisé l'utilisation des connaissances locales pour les évaluations environnementales et insisté sur la philosophie : « Notre terre, notre projet. » Des discussions régulières ont eu lieu, et des séances d'information ont permis de répondre aux préoccupations locales (Innavik Hydro, 2020). • La CQEK, organisme régional de réglementation, a joué un rôle crucial dans l'approbation du projet. Elle a veillé au respect des mesures de protection de l'environnement et de la culture adaptées à l'écosystème unique et au patrimoine autochtone du Nunavik (Pituvik Landholding Corporation, 2024). Les leaders de Pituvik ont collaboré avec Innergex pour satisfaire à ces exigences. • Les jeunes et autres membres de la communauté locale ont participé à la planification du projet et aux études, et se sont vu confier des rôles opérationnels. • La sensibilisation de la communauté aux mesures de protection particulières, notamment en ce qui concerne la qualité de l'eau, a permis d'atténuer les préoccupations initiales de 17 % des résident·es (Anselmi, 2019) (Paradis, 2023; Pituvik Landholding Corporation, 2024).
Sélection et approvisionnement de la technologie	<ul style="list-style-type: none"> • On a opté pour une installation hydroélectrique au fil de l'eau afin de réduire au minimum l'impact environnemental. La conception évite de bloquer le débit de l'eau, ce qui répond aux préoccupations de la communauté concernant la salinité et la biodiversité (Innavik Hydro, 2021). • Le projet comprenait des contrats d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction et a confié à l'entrepreneur la responsabilité de la conception et de la construction. Cette approche a simplifié la logistique et a garanti la responsabilité par rapport à la construction dans l'environnement difficile du Nord (CIMA+, 2025).
Financement et permis	<ul style="list-style-type: none"> • Le projet a bénéficié de financements public et privé, notamment d'importantes contributions d'Innergex et de fonds fédéraux destinés aux communautés autochtones (Innergex Renewable Energy Inc., 2020). • L'approbation de la CQEK était essentielle, et des conditions visant à atténuer les impacts, notamment la surveillance du niveau de mercure, étaient requises. La rivière étant une source d'eau pour la communauté, des mesures de protection strictes étaient requises pour préserver la qualité de l'eau pendant la construction (Pituvik Landholding Corporation, 2024).
Installation et mise en service	<ul style="list-style-type: none"> • Des réunions communautaires régulières ont facilité la communication directe entre les résident·es et les spécialistes du projet. Ces derniers ont répondu aux questions, clarifié les impacts du projet et assuré un suivi rapide (Innavik, 2024), afin de maintenir la transparence et d'inspirer confiance à la communauté. • Parmi les défis à relever figuraient des problèmes logistiques, comme le transport des matériaux par barge et par avion, ainsi que les restrictions liées à la COVID-19. Afin de faciliter la construction, on a dû construire un pont temporaire et des routes d'accès. Une logistique spécialisée (p. ex. des barges et des avions spécialisés) a permis l'acheminement des matériaux et du personnel en temps opportun (Rogers, 2020; Innergex Renewable Energy Inc., 2020). • Les travailleur·euses locaux·ales étaient prioritaires pour la formation et l'embauche, ce qui a favorisé un sentiment d'appropriation et de fierté à l'égard du projet (Innergex Renewable Energy Inc., s. d.).
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Deux opérateurs locaux ont été formés à la gestion du système, ce qui a favorisé l'appropriation du projet par la communauté (Innavik Hydro, s. d.). • La formation et le mentorat ont garanti la viabilité opérationnelle du projet. D'autres programmes de perfectionnement des compétences, par exemple des formations en menuiserie et en mécanique, étaient également prévus (Innavik Hydro, s. d.).

Cette collectivité éloignée et majoritairement autochtone connaît des difficultés liées à l'accès à l'énergie et à la durabilité environnementale. Depuis des décennies, Inukjuak dépend du diesel pour son approvisionnement en électricité – solution qui pose de nombreux problèmes écologiques, économiques et logistiques. La dépendance au diesel posait d'importants risques pour l'environnement et la population, notamment à cause des émissions de gaz à effet de serre, des coûts d'exploitation élevés, des fluctuations du cours du carburant et des perturbations de la chaîne d'approvisionnement. Consciente de ces défis, la communauté a cherché une solution énergétique plus durable et plus autonome.

Résumé du projet de transition énergétique

Le projet d'aménagement hydroélectrique Innavig comprend une centrale hydroélectrique au fil de l'eau d'une puissance de 7,5 mégawatts (MW). Elle vise à remplacer le diesel comme principale source d'électricité à Inukjuak. En exploitation depuis octobre 2023, cette centrale a été développée grâce à un partenariat de longue date entre la Pituvik Landholding Corporation, l'organisme local inuit responsable de la gestion des terres de catégorie 1¹, et Innergex, promoteur privé du secteur des énergies renouvelables chevronné dans le domaine des systèmes hydroélectriques. Pituvik a joué un rôle déterminant dès le départ, en s'assurant que le projet demeure axé sur les valeurs communautaires, l'intendance environnementale et les avantages économiques à long terme. Le financement a couvert de 75 à 85 % du coût total du développement, le reste du capital étant réparti à égalité de parts entre Pituvik et Innergex (Perron-Piché, 2023). Ensemble, les partenaires ont obtenu les autorisations réglementaires requises et apaisé la résistance initiale de la communauté en informant de manière proactive les résident·es à propos des mesures de protection de l'environnement, en particulier en ce qui concerne la qualité de l'eau. Le projet a fait d'Inukjuak un chef de file du développement de l'énergie renouvelable menée par des Autochtones dans le Nord du Québec. Le tableau 4 présente un résumé du projet.

¹ Les terres de catégorie 1 sont des terres autochtones gérées par les Premières Nations en vertu de la Loi sur la gestion des terres des Premières Nations, qui leur accorde une plus grande autonomie et un meilleur contrôle sur l'utilisation des terres.



Principaux résultats

Le projet d'aménagement hydroélectrique Innavik est un exemple de projet communautaire dont le système a été choisi pour réduire le plus possible les perturbations écologiques, en évitant le blocage du débit d'eau et les risques pour la biodiversité. Le tableau 5 résume les principaux résultats des entrevues, par phase de développement du projet.

Le parcours d'Innavik Hydro illustre le potentiel transformateur des projets d'énergie renouvelable menés par les Autochtones et guidés par une planification communautaire, des partenariats adaptés à la culture locale et une rigoureuse intendance environnementale. Ces réalisations – surmonter les complexités logistiques, relever les défis liés à la réglementation et répondre aux préoccupations de la communauté – exigent des mesures continues pour assurer leur durabilité. Les entrevues menées avec les membres de la communauté ont mis en évidence les résultats suivants :

- La planification menée par les Autochtones renforce la pertinence du projet et la responsabilisation. Ce projet d'énergie renouvelable géré par les Autochtones a mis en lumière l'intégration du savoir traditionnel des Inuits et la prise de décisions à l'échelle locale. Mené par les leaders de Pituvik en collaboration avec Innergex, le projet a satisfait aux exigences réglementaires grâce à la CQEK, qui a mis en place des mesures de protection de l'environnement et de la culture pour l'écosystème du Nunavik.
- Un engagement transparent inspire la confiance et permet de dissiper les résistances. Le projet a dissipé la résistance initiale de 17 % des résident·es (Paradis, 2023) grâce à l'éducation et à un engagement inclusif, en offrant aux jeunes et aux résident·es un rôle dans la planification, les sondages et la construction.
- La débrouillardise locale transforme les obstacles logistiques en atouts. Ces défis logistiques liés à l'éloignement, aux restrictions imposées par la COVID-19 et au transport des matériaux, ont été relevés grâce à l'ingéniosité des membres de la communauté, ce qui a renforcé leur sentiment d'appropriation du projet.

Les prochaines étapes pour Pituvik et Innergex sont les suivantes :

- s'engager à partager les enseignements tirés avec d'autres collectivités/communautés;
- suivre de très près les impacts environnementaux;
- multiplier les programmes de renforcement des capacités;
- réinvestir les recettes du projet dans les infrastructures communautaires et les programmes sociaux.

Cette approche holistique crée un modèle durable pour la transition vers l'énergie renouvelable dans les régions éloignées.

Honorer le passé, dynamiser l'avenir : l'héritage énergétique de la Première Nation des Kwanlin Dün

« Ce projet vise à garantir un avenir où nos enfants et petits-enfants n'auront plus à dépendre du diesel. Il s'agit de construire quelque chose de durable pour les générations futures. »

Sean Smith, chef de la Première Nation des Kwanlin Dün

La Première Nation des Kwanlin Dün (PNKD) est une première nation autonome située à Whitehorse (capitale du Yukon) et dans ses environs. Cette communauté de quelque 1 200 membres vit dans un climat subarctique caractérisé par des hivers longs et froids et des étés courts et doux. Un tel climat pose des problèmes particuliers sur le plan de la fiabilité de l'approvisionnement énergétique et du développement des infrastructures. Depuis toujours, les membres de la PNKD dépendent largement du fleuve Yukon pour leur subsistance et leurs pratiques culturelles. Or, le développement d'infrastructures, comme le barrage de Whitehorse, construit en 1958, a perturbé les modes de vie traditionnels et déplacé un grand nombre d'habitants.



Aujourd'hui, malgré sa proximité avec la capitale territoriale, la communauté est confrontée à des défis énergétiques permanents : dépendance aux combustibles importés pendant les mois d'hiver, vulnérabilité face à la fluctuation des cours de l'énergie, réseau électrique isolé avec une capacité de production d'énergie limitée à l'échelle locale. En 2005, la PNKD est devenue autonome en vertu d'un accord définitif conclu avec le territoire du Yukon et le Canada, qui a établi ses droits sur les terres, les ressources et la gouvernance. Depuis, elle a favorisé le développement économique par l'intermédiaire de sa branche commerciale, Chu Níikwän Limited Partnership (CNLP). Le projet éolien de la colline Haeckel-Thay T'äw s'inscrit dans cette vision stratégique et renforce la position de la PNKD en tant que pionnière du développement de l'énergie éolienne gérée par des Autochtones et de la résilience économique locale.



Tableau 6. Résumé du projet éolien de la colline Haeckel-Thay T'äw

Détails du projet	Description
Technologie	Énergie éolienne (quatre éoliennes EWT DW-61 de 1 MW) (Eagle Hill Energy LP, 2023)
Capacité installée	4 MW (deux parcs éoliens de 2 MW); chaque parc produit 2 MW conformément aux limites de taille imposée par le Yukon aux producteurs d'électricité indépendants (PEI) (Eagle Hill Energy LP, 2023)
Échéancier	2016 (lancement) à 2024 (achèvement) (Eagle Hill Energy LP, 2023)
Coût total	25 086 336 \$ CA (~18 millions \$ US) (Eagle Hill Energy LP, 2023)
Sources de financement	Programme d'infrastructure Investir dans le Canada, programme Énergie propre pour les collectivités rurales et éloignées, Agence canadienne de développement économique du Nord (Connors, 2023; gouvernement du Yukon, 2023)
Responsable du projet et partenaires clés	PNKD, CNLP, Northern Energy Capital (CNLP, 2024)
Structure de propriété	Propriété à 100 % de la PNKD par l'intermédiaire de CNLP (CNLP, 2024)
Retombées du projet	<ul style="list-style-type: none"> Le projet génère d'importantes recettes à long terme grâce à la vente d'électricité à Énergie Yukon. Ces recettes sont réinvesties dans des infrastructures communautaires essentielles, comme le logement et les routes (CNLP, 2024). De l'énergie propre équivalant à plus de 615 000 litres de diesel a été produite au cours de la première année d'exploitation (communication personnelle avec Stephanie Cunha, Énergie Yukon, 27 juin 2025). Réduction d'environ 4 000 tonnes par an des émissions de CO₂, soit environ 100 000 tonnes sur les 25 ans de durée de vie du projet (Connors, 2023; EWT, 2023; Environment Journal, 2023). La PNKD, dont les membres avaient été déplacés en raison de projets énergétiques, comme le barrage de Whitehorse, est désormais une cheff de file dans le domaine de l'énergie renouvelable. En outre, le projet a créé des emplois locaux et favorisé l'autonomisation de la communauté et sa souveraineté énergétique (CNLP, 2024).



Tableau 7. Résultats des entrevues sur le projet d'énergie éolienne de la colline Haeckel-Thay T'äw, par phase de développement du projet

Phase de développement du projet

Principaux résultats

Planification

- Une participation précoce et des partenariats structurés ont été essentiels. La PNKD a tiré parti du traité moderne qu'elle a conclu pour garantir son pouvoir décisionnel. L'engagement communautaire a permis de dissiper le scepticisme suscité par de précédents projets éoliens infructueux. Le projet s'est aligné sur la politique du Yukon relative aux PEI, qui permet la propriété par les Premières Nations.

Sélection et approvisionnement de la technologie

- Pour ce projet, on a sélectionné des éoliennes EWT de 1 MW, particulièrement adaptées aux conditions dans les régions éloignées de l'Arctique (WindpowerNL, 2023). Une approbation réglementaire était nécessaire pour les pales d'éoliennes noires, qui réduisent l'accumulation de glace. La logistique de la chaîne d'approvisionnement et la capacité d'adaptation au climat froid ont été d'importants facteurs dans les décisions d'achat.

Financement et permis

- Il était essentiel de trouver un financement auprès de sources fédérales, notamment la Banque de l'infrastructure du Canada, Ressources naturelles Canada et l'Agence canadienne de développement économique du Nord (gouvernement du Canada, 2023).
- La Yukon Environmental and Socioeconomic Assessment Board (YESAB, Office d'évaluation environnementale et socioéconomique du Yukon) a accordé l'approbation réglementaire, garantissant la conformité environnementale (YESAB, s. d.).

Installation et mise en service

- La construction a été achevée dans les délais impartis et en deçà du budget, ce qui a permis l'ajout d'améliorations technologiques et d'innovations après l'achèvement des travaux. On a priorisé les entrepreneurs locaux, ce qui a renforcé la capacité de main-d'œuvre régionale. Certains ajustements techniques ont dû être apportés pour adapter les éoliennes à un système de 60 hertz, et le rendement du système de chauffage des pales a été optimisé lors de la mise en service.

Exploitation

- Le projet a connu des problèmes liés à la variabilité du vent, en particulier par temps extrêmement froid. La technologie de chauffage des pales est efficace au-dessus de -20 °C, mais d'une efficacité limitée à des températures inférieures.

Résumé du projet de transition énergétique

Le projet éolien de la colline Haeckel-Thay T'äw constitue une étape importante dans la progression de la PNKD vers l'autonomie énergétique. Situé sur le territoire traditionnel de la PNKD, ce projet bénéficie du cadre juridique du traité, qui confère à la PNKD l'autorité en matière d'aménagement du territoire, de gestion des ressources et de développement économique. Surtout, le traité prévoit que les services publics et entités gouvernementales doivent accorder à la PNKD une participation minimale de 25 % dans les projets de production d'énergie développés sur leurs terres. Cette disposition garantit d'importantes retombées économiques, un plus grand contrôle de la communauté et un alignement sur les priorités locales (Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, 2005).

Créée conjointement par CNLP et Northern Energy Capital, Eagle Hill Energy Limited Partnership est la première entreprise entièrement autochtone propriétaire d'éoliennes commerciales dans le Nord canadien. Cette entité a structuré le financement, la construction et l'exploitation du projet, lequel va non seulement réduire la dépendance au diesel et au gaz naturel liquéfié, mais également fournir à la PNKD des recettes durables. Il s'agira alors un modèle reproductible pour le développement d'énergie renouvelable par les Autochtones.



Principaux résultats

Le projet éolien de la colline Haeckel–Thay T’äw a traversé plusieurs phases, chacune présentant des défis techniques, financiers et opérationnels. Le tableau 7 résume les principaux résultats, par phase du projet, des entrevues avec les membres de la communauté PNKD et les partenaires du projet.

Le projet éolien de la colline Haeckel–Thay T’äw représente une transition historique pour la PNKD. En effet, il démontre la capacité de la communauté à posséder et à exploiter des infrastructures d’énergie renouvelable et crée un précédent fiable pour les projets de développement économique de propriété autochtone dans le territoire du Yukon. Voici les principaux enseignements tirés du projet :
Enseignements pour les sociétés de développement des Premières Nations :

- Les communautés autochtones peuvent désormais mener des projets dès le départ plutôt que d’attendre l’arrivée de promoteurs externes.
- Il faut intégrer le développement énergétique dans la planification économique à long terme afin d’en assurer l’alignement sur les priorités des communautés.
- La structure de gouvernance de CNLP est demeurée apolitique afin de maintenir l’élan et la continuité du projet éolien de la colline Haeckel–Thay T’äw, malgré un changement de direction au sein de la PNKD à la suite d’élections.

Enseignements pour les services publics et promoteurs :

- Le financement public est essentiel pour assurer la viabilité de projets éoliens dans les réseaux isolés.
- Il faut prioriser les solutions de stockage de l’énergie, étant donné le caractère intermittent de l’énergie éolienne.
- La collaboration entre les services publics, les Premières Nations et les organismes gouvernementaux garantit une intégration plus harmonieuse des projets et un soutien stratégique.



Ce projet historique et novateur constitue un modèle viable et reproductible pour d'autres Premières Nations. Voici les prochaines étapes (en cours ou prévues) pour la PNKD et d'autres communautés autochtones du Yukon :

- La PNKD continue d'étoffer son portefeuille d'énergies renouvelables et consolide son leadership en matière de développement durable. Conscients de l'importance d'une croissance structurée et équitable de l'énergie renouvelable, les défenseurs de cette politique préconisent la mise en place d'un cadre d'approvisionnement en électricité contrôlé par les Autochtones, afin de minimiser la concurrence entre communautés.
- Comme mesure d'adaptation à l'intermittence de l'éolien et pour renforcer la fiabilité du réseau, la PNKD investit de manière stratégique dans une capacité de production de 20 MW et une capacité de stockage de 40 MWh. Elle renforce ainsi son engagement envers l'indépendance énergétique proactive, durable et axée sur la communauté.
- Énergie Yukon tire parti du succès du projet et évalue des projets d'énergie renouvelable à plus grande échelle, notamment le projet éolien et de stockage de Mount Sumanik, d'une valeur de 200 millions \$ CA (Énergie Yukon, 2014; Eagle Hill Energy LP, 2023).



3. Études de cas aux États-Unis

Vue d'ensemble

On trouve aux États-Unis une grande diversité de reliefs, de caractéristiques géographiques et de climats, et la transition énergétique pose aux collectivités géographiquement éloignées des problèmes et des possibilités uniques. Certaines collectivités ont des infrastructures limitées et sont géographiquement éloignées par rapport aux centres urbains et aux réseaux électriques. Il leur faut donc des solutions novatrices et adaptées pour un développement énergétique durable. Les trois collectivités géographiquement éloignées des États-Unis que nous avons retenues pour ces études de cas sont situées dans la Northwest Arctic Borough (NAB, région nord-ouest de l'Arctique) (Alaska), à Toro Negro, dans la municipalité de Ciales (Porto Rico), et à Borrego Springs (Californie). Ces collectivités entreprennent des projets énergétiques transformateurs en vue d'améliorer leur résilience et leur durabilité. Grâce à un ensemble de programmes fédéraux et d'États, elles ont pu réaliser ces travaux, par exemple les High Energy Cost Grants (subventions pour les coûts énergétiques éle-



vés) de l'US Department of Agriculture (USDA, ministère américain de l'Agriculture), le fonds pour la résilience du Département de l'Énergie et les investissements de la California Energy Commission (Commission de l'énergie de Californie). Il faut également mentionner le leadership local et le soutien d'organismes à but non lucratif. On trouvera en annexe plus de détails sur les politiques facilitatrices et les structures de financement de chaque projet.

En Alaska, la NAB est exposée au climat rigoureux de l'Arctique et se trouve à une distance considérable du réseau électrique. Cette région s'est concentrée sur l'exploitation des ressources renouvelables locales afin de réduire sa dépendance vis-à-vis des combustibles importés coûteux. Les activités de transition énergétique de cette région s'inscrivent dans la stratégie plus globale de la NAB visant à intégrer les sources d'énergie renouvelable (comme l'éolien et le solaire) dans les systèmes de production d'énergie existants. L'objectif est de garantir une alimentation électrique fiable et abordable à ses habitants.

Toro Negro, à Porto Rico, présente un ensemble différent de défis et de possibilités. À la suite d'ouragans dévastateurs, la collectivité s'est tournée vers la technologie des miniréseaux et l'énergie solaire pour se rebâtir et créer un système énergétique plus résilient. Cette transition ne mise pas uniquement sur la reprise. Elle mise aussi sur une infrastructure énergétique durable, capable de résister à de futurs événements climatiques extrêmes et de réduire la dépendance aux combustibles fossiles.

Borrego Springs, en Californie, offre un exemple remarquable d'innovation menée par les entreprises de service public dans une collectivité désertique géographiquement éloignée. Développé et exploité par San Diego Gas & Electric (SDG&E), le miniréseau intelligent a été conçu pour améliorer la fiabilité dans une région desservie par une seule ligne de transport d'électricité. Le système a permis l'intégration partielle des ressources solaires locales et fournit une alimentation de secours pendant les arrêts de service prévus, y compris celles qui sont justifiées pour des raisons de sécurité publique. Si les membres de la collectivité ont apprécié la performance du système lors de ces événements, ces membres ont également exprimé leur frustration face à ses limites lors de pannes imprévues. Le projet met en évidence à la fois les possibilités et sa complexité de déployer des technologies de réseau évoluées en milieux ruraux et éloignés, en particulier lorsque les attentes de la collectivité et les réalités infrastructurelles ne sont pas tout à fait alignées.

Ensemble, ces projets illustrent les diverses approches et solutions novatrices mises en œuvre aux États-Unis pour répondre aux besoins énergétiques propres aux collectivités géographiquement éloignées.

L'union fait la force : transition énergétique du Northwest Arctic Borough à Shungnak et à Kobuk

« Si une communauté veut une énergie propre, on doit se poser les questions suivantes : Voulons-nous contrôler notre avenir énergétique? Voulons-nous réduire les coûts? » Il faut commencer par réunir tout le monde, discuter et dresser un plan. C'est comme ça qu'on a procédé à Shungnak et à Kobuk. »

Ingemar Mathiasson, responsable de l'énergie,
Northwest Arctic Borough

D'une superficie de plus de 100 000 kilomètres carrés, la Northwest Arctic Borough (région nord-ouest de l'Arctique) en Alaska compte quelque 7 793 habitant·es dans les communautés suivantes : Ambler, Buckland, Deering, Kiana, Kivalina, Kobuk, Kotzebue, Noatak, Noorvik, Selawik et Shungnak (US Census Bureau, 2020). Elle est principalement habitée par le peuple Iñupiat, dont le mode de vie est profondément lié à la terre et aux ressources naturelles. La NAB se caractérise par son éloignement géographique, ses conditions météorologiques difficiles et sa dépendance au diesel (combustible coûteux et nuisible à l'environnement) pour produire de l'électricité.

Ces dernières années, la NAB a considérablement réduit sa dépendance au diesel en intégrant des sources d'énergie renouvelable, comme l'éolien et le solaire (Meadows et coll., 2025; Anderson et coll., 2023). Cette transition est étroitement liée à la quête d'autodétermination et d'indépendance énergétique des communautés, ainsi qu'à l'apparition de producteurs d'électricité indépendants (PEI) à but non lucratif. Dans le passé, la région dépendait fortement des génératrices diesel, qui sont coûteuses et nuisibles à l'environnement (Vera et coll., 2020). Au début des années 2010, on a mené des études de faisabilité et des projets initiaux afin de trouver des solutions énergétiques de remplacement, comme les systèmes hybrides éolien-diesel et les installations solaires photovoltaïques (WHPacific, 2010; Alaska Energy Authority, 2014). En 2014, plusieurs communautés avaient installé des champs de modules photovoltaïques pour alimenter des infrastructures essentielles, telles que des usines de traitement des eaux et des stations d'épuration. Elles ont ainsi pu réduire les coûts d'exploitation et la consommation de diesel (Uddin et coll., 2023).



Cette étude de cas porte sur les communautés de Shungnak et Kobuk afin de mieux comprendre les problèmes et les réussites uniques de communautés plus petites et géographiquement éloignées de la NAB. Ces communautés ont mis à profit des solutions d'énergie renouvelable pour relever des défis critiques, par exemple l'éloignement géographique, les coûts énergétiques élevés et l'impact environnemental. Shungnak, dont la population est en déclin (247 habitant·es en 2024) a mis en œuvre des projets d'énergie solaire photovoltaïque et de stockage par batterie afin de réduire sa dépendance au diesel. De même, Kobuk, qui comptait 156 habitants en 2021, a adopté des systèmes énergétiques hybrides pour alimenter les infrastructures essentielles tout en réduisant les coûts d'exploitation et les émissions.



Depuis longtemps, Shungnak et Kobuk dépendaient entièrement de génératrices diesel pour leur approvisionnement en électricité. Cette dépendance posait des problèmes majeurs, notamment en raison des coûts élevés pour le transport du carburant et des préoccupations environnementales relativement aux émissions. La communauté de Shungnak a donc entrepris un ambitieux projet de transition énergétique. Le Power Cost Equalization program (PCE, programme de péréquation des coûts de l'électricité) de l'Alaska accorde des subventions afin de réduire les dépenses d'électricité des clients résidentiels en région rurale. Ces subventions couvrent une partie seulement des coûts de l'électricité produite par des génératrices diesel. De plus, elles ne résolvent pas entièrement le problème de l'instabilité liée à la dépendance aux combustibles importés (Alaska Energy Authority, 2019). Le fardeau financier persistant et la vulnérabilité liée à toute perturbation de l'approvisionnement externe en combustible soulignaient l'impératif de passer à un système énergétique plus durable et contrôlé à l'échelle locale.

Résumé du projet de transition énergétique

La transition énergétique à Shungnak et à Kobuk montre comment une planification coordonnée et des infrastructures existantes peuvent mener à des solutions novatrices en matière d'énergie propre dans des communautés géographiquement éloignées. Les deux villages sont reliés par une interconnexion électrique de 16 km (10 milles) construite en 1994 par l'Alaska Village Electric Cooperative (AVEC). Cette installation a permis de centraliser la production à Shungnak et d'alimenter les deux communautés en électricité. Elle a ainsi permis le partage des avantages de nouveaux investissements dans l'énergie renouvelable. La première étape a été franchie à Shungnak en 2016 avec l'installation d'un champ de modules photovoltaïques de 7,5 kW pour alimenter la station de traitement des eaux. Forte de ce premier succès, la communauté a commandé en 2021 un système beaucoup plus important : un miniréseau combinant

panneaux solaires et batteries et composé d'un champ de modules photovoltaïques de 223,5 kW et d'un système de stockage d'énergie par batterie (SSEB) de 352 kWh. Ces installations remplacent désormais plus de 37 000 litres (9 800 gallons) de diesel par an. Voilà un bel exemple du pouvoir du leadership local, des partenariats stratégiques et de la collaboration intercommunautaire pour renforcer la résilience énergétique dans l'Arctique (Anderson et coll., 2023; NAB, s. d.). Le tableau 8 présente un bref résumé et les retombées du projet.



Principaux résultats

Le développement et le déploiement du miniréseau de panneaux solaires et de batteries à Shungnak et à Kobuk sont le fruit d'un processus mûrement réfléchi en plusieurs phases et adapté aux conditions particulières de l'Alaska rural. De la planification initiale à l'exploitation continue, chaque phase du projet a combiné leadership communautaire, adaptation technique et résolution de problèmes, dans un esprit de collaboration. Le tableau 9 présente les principaux résultats, par phase du projet, résumés à partir des entrevues menées avec les membres des communautés de Shungnak et de Kobuk.

Le passage à l'énergie renouvelable à Shungnak et à Kobuk illustre le potentiel des communautés éloignées d'Alaska de passer du diesel à des systèmes énergétiques durables et gérés localement. Voici les principaux enseignements tirés de ce projet :

- Un leadership local fort est la clé d'un projet fructueux. La NAB et les leaders communautaires étaient au cœur du bon déroulement du projet et ont assuré la coordination entre les différents organismes et en veillant à son alignement sur les priorités locales.
- Investir dès le départ dans les capacités de la main-d'œuvre est payant. La formation de résident·es au fonctionnement et à l'entretien du système a permis de ne plus dépendre à long terme de sous-traitants externes et de renforcer l'appropriation du projet par la communauté.
- Les partenariats doivent respecter les échéanciers établis par la communauté. La coordination avec les bailleurs de fonds, les promoteurs et les autorités locales a requis patience et souplesse, en particulier dans les zones géographiquement éloignées où les conditions météorologiques, les horaires de transport et les saisons de subsistance déterminent les délais.
- L'équité énergétique s'améliore lorsque les projets sont conçus dans un souci d'économie de coûts. En réduisant la consommation de diesel, le projet a permis de diminuer les coûts de carburant et de stabiliser l'approvisionnement en

électricité, de manière à générer des avantages économiques tangibles pour les ménages et établissements.

- Un projet fructueux dans une communauté en dynamise d'autres. Le modèle Shungnak-Kobuk a inspiré les communautés voisines en montrant la valeur des solutions d'énergie renouvelable évolutives et adaptées aux besoins locaux dans la région.

Voici les prochaines étapes (planifiées et potentielles) pour Shungnak et Kobuk :

- Pour tirer parti de leur succès, les communautés prévoient d'augmenter la capacité des onduleurs afin de permettre la pleine utilisation du système de batteries existant de 352 kWh et d'optimiser l'efficacité énergétique.
- L'accroissement de la capacité des panneaux solaires permettra de réduire encore plus la consommation de diesel et de générer encore plus d'avantages économiques.
- Il est essentiel de continuer à investir dans le renforcement des capacités des communautés, notamment en proposant aux opérateurs locaux des formations poussées en matière de gestion des systèmes énergétiques.
- Le partage proactif des connaissances et des enseignements tirés du projet avec les communautés éloignées voisines favorisera des transitions similaires à l'énergie renouvelable dans toute la région.
- Enfin, consacrer une partie des recettes du projet à la création d'un fonds spécial pour l'entretien et les réparations garantira la viabilité opérationnelle à long terme. On établira ainsi un modèle reproductible pour l'indépendance énergétique, la croissance économique et l'intendance environnementale dans les régions rurales de l'Alaska.





Tableau 8. Résumé du projet réalisé à Shungnak et Kobuk

Détails du projet	Description
Technologie	Panneaux solaires photovoltaïques bifaces, SSEB, onduleur, contrôleur de miniréseau
Capacité installée	Panneaux solaires : 223 kW SSEB : 352 kWh
Échéancier	Janvier 2020 à décembre 2021
Coût total	2,3 millions \$ US
Sources de financement	US Department of Agriculture High Energy Cost Grant : 1 219 675 \$ US Northwest Arctic Borough Village Improvement Fund : 800 000 \$ US
Responsable du projet et partenaires clés	AVEC Alaska Native Renewable Industries Ageto (fournisseur de l'onduleur du miniréseau) Blue Planet Energy (fournisseur des batteries)
Structure de propriété	Le projet est structuré comme un PEI détenu et exploité par les entités tribales de Shungnak et Kobuk. Le PEI vend de l'électricité à l'AVEC dans le cadre d'un accord d'achat d'énergie. Les recettes financent ensuite l'entretien du système, couvrent les coûts d'exploitation et génèrent des retombées économiques pour les communautés.
Retombées du projet	<ul style="list-style-type: none"> • Le projet a amélioré la qualité de vie grâce à une réduction du bruit pendant les périodes sans diesel, réduisant ainsi la pollution sonore. • Le renforcement de la propriété communautaire des ressources, ce qui suscite un sentiment d'autonomie et d'indépendance. • La consommation réduite de diesel a permis de réduire les coûts énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre, et de générer des économies pour la communauté grâce au modèle PEI. • Le projet génère des recettes nettes d'environ 100 000 \$ US par an qui sont réinvesties dans la communauté. • Le transport de diesel a diminué, ce qui a réduit les risques de déversements et de pollution. • Le projet a répondu aux attentes, et les a même dépassées, en réalisant un taux de pénétration des énergies renouvelables de 11 %. On a ainsi compensé la consommation de diesel et généré des recettes pour financer des projets communautaires, par exemple l'installation de thermopompes.

Source : information obtenue par Anderson et coll. (2023) et Meadows et coll. (2025).

Tableau 9. Résultats des entrevues sur les systèmes en place à Shungnak et à Kobuk, par phase de développement du projet

Phase de développement du projet	Principaux résultats	Phase de développement du projet	Principaux résultats
Planification	<ul style="list-style-type: none"> La création d'un PEI a permis à la communauté de demeurer propriétaire du réseau et de réinvestir les recettes de la vente d'électricité. On a soigneusement évalué le potentiel de production d'énergie renouvelable de Shungnak pendant la phase de planification. L'énergie solaire a été désignée comme une ressource viable. Malgré les défis que pose la variabilité saisonnière de ce type d'énergie, le système a été conçu de manière à prioriser les apports solaires pendant les périodes de disponibilité maximale afin de recourir le moins possible au diesel pendant les mois où il y a moins de lumière. 		<ul style="list-style-type: none"> Des ententes d'utilisation des terres ont été conclues durant le processus de délivrance de permis. La municipalité de Shungnak a fourni le terrain pour les panneaux solaires et l'infrastructure du miniréseau, et les a loués au PEI tribal dans le cadre d'un accord officiel. L'équipe du projet a collaboré avec l'AVEC afin d'assurer une intégration transparente du système d'énergie renouvelable et du réseau existant alimenté au diesel. Cette collaboration a également assuré la conformité aux exigences du programme PCE de manière à éviter toute perturbation des économies d'énergie réalisées par la communauté.
Sélection et approvisionnement de la technologie	<ul style="list-style-type: none"> Le projet a utilisé des panneaux solaires bifaces, qui captent la lumière du soleil des deux côtés pour être plus efficaces. Installés en demi-cercle afin d'optimiser la capture d'énergie tout au long de la journée, ces panneaux s'adaptant aux conditions d'ensoleillement uniques de l'Alaska – p. ex., les faibles angles solaires et les longs jours d'été. Des enjeux de compatibilité du système ont fait partie des problèmes liés au processus d'approvisionnement. Certains composants, tels que les optimiseurs SolarEdge, ont affiché au départ un taux de défaillance plus élevé que prévu. Un dépannage technique et des réglages ont permis de résoudre ces problèmes. L'installation dans la toundra a présenté des défis uniques. La conception du système a pris en compte le mouvement du pergélisol –des supports spécialement conçus ont assuré la stabilité malgré les mouvements du sol. 	Installation et mise en service	<ul style="list-style-type: none"> L'éloignement géographique de Shungnak et les conditions arctiques extrêmes ont posé des défis lors de l'installation. Des pieux ont dû être enfoncés dans le pergélisol, et on a utilisé des supports spécialisés pour contrer les mouvements du sol de la toundra. Le projet s'est déroulé efficacement malgré ces défis, avec quelques modifications mineures par rapport à la conception initiale. On a testé et étalonné chaque composant, y compris les batteries (fournies par Blue Planet) et le contrôleur du miniréseau (fourni par Agito), afin de garantir un fonctionnement sans faille. L'AVEC a facilité la mise en service finale afin d'intégrer le système et le réseau existants. Le projet a connu un léger dépassement de coûts, nécessitant 200 000 dollars US supplémentaires, qui ont été couverts par le fonds pour l'amélioration du village.
Financement et permis	<ul style="list-style-type: none"> Une harmonisation soignée du projet énergétique de Shungnak avec le programme PCE était requise afin de maximiser ses avantages financiers pour la communauté. Pour satisfaire aux exigences fédérales, le projet a fait l'objet d'une évaluation au titre de la National Environmental Policy Act (NEPA, Loi nationale sur la politique environnementale), conformément aux directives de l'USDA. Cette évaluation, réalisée sans retard significatif, a ouvert la voie à la construction. Des fonds fédéraux et locaux ont assuré le financement du projet. Grâce à la création d'un PEI, la communauté a pu générer des recettes en vendant de l'énergie renouvelable à l'AVEC dans le cadre d'un accord d'achat d'énergie. Les recettes de la vente d'électricité couvrent l'entretien du système, les coûts d'exploitation et le développement communautaire. 	Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> Une main-d'œuvre locale et des systèmes de surveillance géographiquement isolés assurent la gestion du projet. L'AVEC continue d'assurer la supervision opérationnelle, et les opérateurs tribaux contribuent à l'entretien quotidien. Les membres de la tribu ont reçu une formation pour gérer les opérations courantes, comme la surveillance de la performance des batteries et la stabilité du miniréseau. Une formation complémentaire aborde certains enjeux, comme le réglage des supports à la suite de mouvements du pergélisol. Le projet a favorisé le renforcement des capacités locales en employant des membres de la tribu et en les formant à l'exploitation des systèmes énergétiques. Les opérateurs de services publics de l'AVEC s'occupent également d'une partie de l'entretien, ce qui crée une structure de gestion à deux systèmes qui accroît la fiabilité.

Fuente: Información de la tabla procedente de Anderson et al. (2023), y Meadows et al. (2025).

Libérer le potentiel : surmonter les défis du miniréseau de Borrego Springs

« Borrego Springs est unique, car nous sommes enclavés : notre seule ligne électrique traverse un parc national. Ainsi, la résilience énergétique est non seulement un objectif, elle est essentielle. »

John Peterson, Borrego Springs Sponsor Group

Petite collectivité non constituée en municipalité, Borrego Springs, en Californie, se situe au cœur du parc d'État Anza-Borrego Desert. Il s'agit du plus grand parc de la Californie, célèbre pour ses paysages désertiques époustouflants et ses ciels nocturnes étoilés. La collectivité compte environ 3 500 habitant·es (Census Reporter, 2022). Le parc joue un rôle essentiel dans l'identité et l'économie de la ville. Il attire entre 650 000 et un million de visiteurs chaque année, faisant du tourisme le principal moteur économique de la collectivité (County of San Diego, 2011, 5-6). Les habitant·es bénéficient de l'importance environnementale et culturelle unique du parc, qui comprend des milliers de sites archéologiques liés au patrimoine des peuples Cahuilla et Kumeyaay. Son éthique de préservation influence les décisions prises à l'échelle locale touchant le développement et l'infrastructure. Borrego Springs accueille également des retraités et des visiteurs saisonniers dans ses hôtels, restaurants et établissements récréatifs (County of San Diego, 2011, 6-9).



Les pannes de courant sont fréquentes à Borrego Springs, exposée à des phénomènes météorologiques extrêmes, comme les feux de forêt, les vents violents, les crues soudaines et la foudre. L'emplacement de la collectivité, à l'extrémité d'une seule ligne de transport d'électricité exploitée par SDG&E, accroît ces risques et rend l'approvisionnement énergétique particulièrement vulnérable aux perturbations (Katmale et coll., 2019).

Tableau 10. Résumé du projet de Borrego Springs

Détails du projet	Description
Technologie	Panneaux photovoltaïques, SSEB, supercondensateur, génératrice traditionnelle
Capacité installée	Champ de modules PV de 26 MW (n'appartient pas à l'entreprise de service public) Modules PV de 8,6 MW montés sur les toits (n'appartiennent pas à l'entreprise de service public) Batterie de 500 kW/1,5 MWh Batterie de 1 MW/3 MWh Supercondensateur de 250 kW Génératrice de 4,4 MW Batterie de 7,3 MW/14,6 MWh (en mise en service)
Échéancier	La planification initiale a débuté en 2008; les principaux éléments étaient opérationnels en 2013. Des mises à niveau sont en cours (Katmale et coll., 2019).
Coût total	US Department of Energy (DOE) : 6,1 millions \$ US California Energy Commission : 6,9 millions \$ US Autre financement du DOE : 4,5 millions \$ US Le partage des coûts avec SDG&E n'a pas été divulgué en détail (Katmale et coll., 2019)
Sources de financement	DOE, California Energy Commission, SDG&E
Responsable du projet et principaux partenaires	SDG&E, avec le soutien de la California Energy Commission et du DOE
Structure de propriété	Appartient à l'entreprise de service public
Retombées du projet	<ul style="list-style-type: none">• Sur le plan économique, le miniréseau a amélioré la fiabilité lors d'arrêts de service prévus, en particulier celles pour la sécurité publique. Or, plusieurs résident·es continuent de subir des interruptions de services imprévues. Leurs opinions sur les effets du miniréseau sur le tourisme et la stabilité économique locale sont mitigées. Le projet a favorisé l'emploi dans le secteur des services publics et le développement régional relativement à l'énergie renouvelable. Toutefois, des membres de la collectivité ont exprimé leur déception face au peu d'emplois directs créés à Borrego Springs même (Katmale et coll., 2019).• En plus de renforcer la résilience durant les arrêts de service prévus, le miniréseau vise à réduire la dépendance à l'électricité importée produite à partir de combustibles fossiles, en intégrant la production et le stockage locaux. Si ces initiatives peuvent éventuellement réduire les coûts énergétiques, on n'a pour l'instant aucune preuve concrète de telles économies pour la collectivité, et certain·es résident·es ont exprimé leurs inquiétudes quant à la répartition équitable des avantages (Barabino et coll., 2023).• Si la conception évoluée du miniréseau a réduit la dépendance aux génératrices diesel, les membres de la collectivité ne semblent pas entièrement convaincus de son efficacité.



Tableau 11. Résultats des entrevues menées à Borrego Springs, par phase de développement du projet (Partie 1)

Phase de développement du projet	Principaux résultats
Planification	<p>Une faible participation de la collectivité au processus de planification des services publics a mené à la négligence de certaines préoccupations locales, notamment une opposition forte et soutenue à une proposition antérieure de SDG&E visant à étendre les lignes de transport d'électricité à l'échelle du parc d'État Anza-Borrego Desert. Malgré une révision du tracé, cet épisode continue de miner la confiance de la collectivité dans les projets de l'entreprise de service public.</p>
Sélection et approvisionnement de la technologie	<p>La technologie sélectionnée pour le miniréseau de Borrego Springs devait répondre aux défis opérationnels particuliers liés au maintien de l'alimentation électrique dans un environnement désertique éloigné. Le système utilise diverses technologies évoluées et traditionnelles adaptées aux conditions météorologiques extrêmes. Sa conception tient compte de l'accès limité au réseau de transport d'électricité et de la capacité nécessaire d'îlotage. Des contraintes techniques et une forte résistance de la collectivité à l'expansion des infrastructures dans les terres protégées du parc ont limité l'intégration du système. Ces contraintes reflètent les priorités environnementales et culturelles.</p> <p>Les principaux éléments techniques sont les suivants :</p> <p>Systèmes de stockage d'énergie :</p> <ul style="list-style-type: none">• Batterie de 500 kW/1,5 MWh• Batterie de 1 MW/3 MWh (actuel composant principal de l'îlot/un des équipements de formation du réseau)• Supercondensateur de 250 kW (permet un lissage de courte durée)• Batterie de 7,3 MW/14,6 MWh (en cours de mise en service pour remplacer la batterie de 1 MW comme composant principal de l'îlot)• Génératrice traditionnelle de 4,4 MW (récemment ajoutée pour renforcer la fiabilité du système durant les pannes de courant) <p>Production d'énergie solaire :</p> <ul style="list-style-type: none">• Un système photovoltaïque solaire commercial de 26 MW se trouve à proximité, mais il appartient à une entreprise privée (Clearway) et ne fait pas partie du miniréseau. SDG&E avait auparavant un accès limité à quelques onduleurs, mais cette ressource n'est plus utilisée en raison de la complexité de la commutation.• Des panneaux solaires d'une capacité d'environ 8,6 MW sont installés sur des toits dans la collectivité, mais ils n'appartiennent pas à l'entreprise de service public et ne peuvent pas être coordonnés pendant le fonctionnement du miniréseau en mode îlotage. <p>Considérations relatives à l'approvisionnement :</p> <ul style="list-style-type: none">• Les équipements du miniréseau visent à répondre aux besoins de formation du réseau, d'équilibrage de charge et de démarrage à froid. L'approvisionnement initial devait démontrer la fonctionnalité du miniréseau en cas d'interruptions échelonnées et d'îlotage limité.
Financement et permis	<p>L'obtention du financement et la satisfaction des exigences en matière de permis ont constitué des étapes cruciales dans le développement du miniréseau. Le projet a bénéficié d'importantes subventions (tableau 10). SDG&E a dû gérer des processus complexes en matière de réglementation et de permis, et certains membres de la collectivité ont qualifié la mobilisation communautaire de faible ou réactive. Ce projet illustre la difficulté d'harmoniser le développement technique avec une communication proactive et inclusive, en particulier dans des collectivités éloignées.</p>



Tableau 11. Résultats des entrevues menées à Borrego Springs, par phase de développement du projet (Partie 2)

Phase de développement du projet

Principaux résultats

Installation et mise en service

L'installation et la mise en service du miniréseau de Borrego Springs ont exigé la modernisation des infrastructures existantes afin d'accueillir un mélange hybride de technologies solaires, de stockage par batterie et de production traditionnelle. Le projet s'est déroulé en plusieurs étapes, allant de l'installation initiale d'équipements de stockage à la récente mise en service d'une génératrice de 4,4 MW et à l'intégration progressive d'un nouveau système de batteries de 7,3 MW/14,6 MWh. Les principaux défis à relever durant l'installation ont compris :

- **Intégration du système** : la coordination des infrastructures héritées avec les nouvelles technologies de formation de réseau et d'équilibrage de charge a exigé des solutions d'ingénierie sur mesure et des tests par étapes, y compris la configuration de commandes en temps réel sur les différents équipements du miniréseau.
- **Contraintes liées à l'environnement et au site** : les températures extrêmes du désert et l'accès limité au site ont ajouté à la complexité du calendrier d'installation. On a sélectionné et installé les composants du système en tenant compte de leur durabilité et de leur opérabilité dans un secteur éloigné.
- **Processus de mise en service** : les premiers systèmes de batteries et de supercondensateurs ont été mis en service parallèlement à la capacité de génération auxiliaire existante. La mise en service de la batterie de 7,3 MW/14,6 MWh, qui devrait devenir le nouvel élément principal de l'îlot, est en cours et devrait prendre fin au troisième trimestre de 2025.

La mise en service technique s'est déroulée avec succès aux phases précédentes, et la pleine fonctionnalité du miniréseau, en particulier l'îlotage homogène durant les pannes imprévues, se poursuit. Selon l'entreprise de service public, l'introduction de la nouvelle batterie devrait considérablement améliorer les performances du système et renforcer les fonctionnalités de contrôle de la fréquence et de gestion du réseau (Katmale et coll., 2019; SDG&E, 2024).

Exploitation

- Si le système a montré sa fonctionnalité durant certaines interruptions prévues, sa performance durant des pannes imprévues a été inégale. Cette inconstance est principalement attribuable à des enjeux de communication et de commande entre composants du système lors de perturbations du réseau.
- La capacité du miniréseau à desservir pleinement la collectivité dans des conditions d'îlotage continue d'évoluer. On continue de peaufiner les protocoles opérationnels, notamment en vue d'intégrer la nouvelle batterie longue durée comme principal élément de formation du réseau. Une fois pleinement mise en service, cette batterie devrait améliorer la stabilité de la fréquence et de la tension et participer au marché de la CAISO (California Independent System Operator, exploitant de systèmes indépendants en Californie) dans des conditions normales de réseau.
- Les intervenants communautaires ont fait valoir que la valeur fondamentale du miniréseau réside dans sa capacité à fonctionner de manière indépendante pendant les pannes de courant, et que la priorité du projet doit demeurer le renforcement de la résilience locale, et non l'accroissement de l'interconnexion.
- Certain-es résident-es ont exprimé leur frustration face au fonctionnement inconstant du miniréseau durant les pannes imprévues. Cette inconstance a renforcé l'impression d'une fiabilité à peine améliorée.

Résumé du projet de transition énergétique

En réponse aux problèmes persistants de fiabilité énergétique, SDG&E a supervisé le développement du miniréseau de Borrego Springs, soutenu par un financement public substantiel. Un champ de modules photovoltaïques de 26 MW se trouve à proximité (établi à l'origine par NRG, mais appartenant désormais à Clearway), mais il ne fait pas partie du miniréseau opérationnel. Par le passé, SDG&E avait un accès limité à plusieurs onduleurs sur ce site pour soutenir le réseau, mais cet arrangement n'est plus en vigueur. Le miniréseau fonctionne plutôt à l'aide d'équipements pris en charge par les entreprises de services publics, notamment une batterie de 500 kW/1,5 MWh, une batterie de 1 MW/3 MWh, un supercondensateur de 250 kW et une génératrice de 4,4 MW récemment mise en service. Des panneaux solaires d'une capacité d'environ 8,6 MW sont aussi installés sur des toits dans la collectivité, mais ils n'appartiennent pas à l'entreprise de service public. Une nouvelle batterie d'une capacité de 7,3 MW/14,6 MWh deviendra l'élément central du réseau une fois qu'elle sera entièrement fonctionnelle. La participation communautaire a été faible durant la phase initiale de planification du projet, ce qui a alimenté les inquiétudes persistantes concernant la transparence, le pouvoir décisionnel et le respect des priorités locales. Le tableau 10 présente un résumé du projet ainsi que ses mesures et effets.

Principaux résultats

Le miniréseau de Borrego Springs, dans le sud de la Californie, constitue l'un des premiers projets réalisés par une entreprise de service public aux États-Unis pour améliorer la résilience énergétique dans un secteur éloigné et à haut risque. Élaboré



et exploité par SDG&E, le projet comprend des systèmes de panneaux solaires, des batteries de stockage et des systèmes diesel hérités. Ce matériel dessert une collectivité désertique qui connaît fréquemment des pannes de courant et des événements climatiques (comme les feux de forêt) qui endommagent les infrastructures énergétiques. L'élaboration du miniréseau a dû composer avec des innovations techniques complexes, des considérations environnementales et des exigences réglementaires. Le tableau 11 présente les principaux résultats des entrevues menées lors de chaque phase du projet. Ils mettent en lumière les réalisations et les défis, en particulier en ce qui concerne l'engagement communautaire et la performance du système.



Après consultation des membres de la collectivité de Borrego Springs et étude de leur projet énergétique de miniréseau, nous avons pu tirer les enseignements suivants :

- Le stockage doit être à la hauteur des promesses. La durée limitée de l'alimentation de secours empêche le miniréseau de répondre aux attentes en matière de fiabilité.
- Privilégier la résilience locale plutôt que d'étendre le transport d'électricité. Si certains spécialistes techniques désignent les contraintes liées au transport comme obstacles à l'intégration de l'énergie solaire, les membres de la collectivité ont rappelé qu'il est plus important d'améliorer la performance du miniréseau, grâce à une plus grande capacité de stockage et d'ilotage, que d'ajouter de nouvelles infrastructures de transport.
- La mobilisation précoce suscite la confiance. Un manque de planification inclusive a plutôt suscité la méfiance de la collectivité.
- Le contexte environnemental doit guider la planification des infrastructures. Une opposition communautaire à l'égard de propositions antérieures d'étendre le réseau de transport dans des parcs protégés montre que les travaux de développement passés continuent d'influencer les opinions à l'échelle locale sur les infrastructures et la conservation.
- Les capacités locales sont importantes. Sans un plan énergétique communautaire, les résident·es n'ont pas voix au chapitre quand il s'agit de définir leur avenir énergétique.

Malgré des progrès notables dans l'amélioration du réseau et plusieurs interruptions prévues réussies (qui ont montré la capacité du miniréseau à alimenter l'ensemble de Borrego Springs), des problèmes persistent. Deux membres de la collectivité représentant des organismes à but non lucratif locaux ont exprimé leur mécontentement; ils ont soulevé des cas où le miniréseau n'a pas fonctionné comme il aurait dû lors de pannes imprévues. Largement attribuées à des enjeux communicationnels entre le contrôleur du miniréseau et la réponse en fréquence du système, ces perturbations continuent d'entretenir le scepticisme quant à la fiabilité de ce système. Bien que le projet ait permis de mieux comprendre les aspects techniques des systèmes d'îlotage combinant panneaux solaires et stockage, des recherches et améliorations continues sont requises pour améliorer la stabilisation de la tension et de la fréquence. Il s'agit de préoccupations graves, étant donné que la Californie entend adopter davantage l'énergie renouvelable.

Ce cas montre toute l'importance de bien distinguer entre les réalisations techniques et l'expérience vécue par la collectivité. Si le miniréseau constitue une importante innovation par l'entreprise de service public, certains habitants de Borrego Springs demeurent préoccupés par le manque d'avantages tangibles à l'échelle locale et par le manque de participation de la collectivité à la prise de décisions clés.

Dans l'avenir, les priorités pourraient inclure :

- augmenter la capacité de stockage locale afin d'améliorer l'efficacité de l'îlotage;
- envisager des solutions non câblées pour les fonctions de transport du réseau qui respectent les limites en matière de conservation;
- intensifier la mobilisation à l'échelle locale afin d'harmoniser les stratégies énergétiques avec les objectifs visés et les valeurs partagées.



Survivre grâce au soleil : la lumière revient à Toro Negro

« Avec tous les avantages et inconvénients de ce projet, et toutes les difficultés et réussites que nous avons connues dans le cadre du projet, nous estimons qu'il a été extrêmement bénéfique pour notre communauté et que, quel que soit le résultat, il demeurera toujours un atout acquis par notre travail et notre détermination. »

José Figueroa, leader communautaire à Toro Negro

Toro Negro est une petite communauté de 62 habitants située dans la municipalité de Ciales, nichée dans la région montagneuse du centre de Porto Rico. Située dans la forêt domaniale de Toro Negro, cette zone se caractérise par une végétation tropicale luxuriante et des écosystèmes diversifiés, notamment des forêts de nuages et des régions montagneuses. Le relief est accidenté, avec des pentes abruptes et un réseau de rivières et de ruisseaux qui forment le système hydrologique de l'île.

L'agriculture à petite échelle constitue l'essentiel de l'économie locale : la culture du café y est une activité importante, parallèlement à l'agriculture de subsistance axée sur les légumes racines et les fruits. Les membres de la communauté pratiquent également des métiers traditionnels, comme le tissage et le travail du bois. Certain-es participent à des projets d'écotourisme, étant donné que la région est proche de sentiers de randonnée et d'attractions naturelles, comme des cascades. L'identité culturelle de Toro Negro est étroitement liée à son riche patrimoine environnemental et à ses traditions agricoles. De plus, Toro Negro se distingue comme une communauté très soudée, dont les membres connaissent toute l'importance de l'entraide. Ils-elles font également preuve d'une grande générosité et aiment parler de leur expérience du projet de panneaux solaires et de SSEB.

En 2017, l'ouragan Maria a entraîné une panne d'électricité qui a duré huit mois et qui a mis en évidence le besoin urgent d'une alimentation électrique plus fiable à Porto Rico. C'est particulièrement le cas pour les communautés rurales montagneuses que frappaient déjà des pannes avant l'ouragan.



Résumé du projet de transition énergétique

Conscients de l'importance cruciale d'une source d'énergie stable, les membres de la communauté ont pris l'initiative de développer un miniréseau solaire, le premier du genre à Porto Rico. José Figueroa, leader communautaire, a dirigé ce projet avec l'appui de la Fundación Comunitaria de Puerto Rico (FCPR, Fondation communautaire de Porto Rico) et Somos Solar, qui ont fait don des fonds pour l'installation des panneaux photovoltaïques et des SSEB. En mars 2018, Toro Negro a mis en place le premier miniréseau solaire communautaire de Porto Rico. Ce réseau alimente en électricité les 28 foyers et un centre communautaire grâce à un réseau décentralisé de 20 systèmes de panneaux photovoltaïques et de stockage par batterie. Sa conception unique, adaptée à la topographie de la communauté, comprend des panneaux photovoltaïques de toit facilement démontables et des connexions électriques enfouies et conçues pour résister aux tempêtes et aux vents violents (Deng et coll., 2019). Grâce à sa configuration en îlot, le miniréseau peut fournir une alimentation électrique fiable même lorsque le réseau principal est endommagé. Le tableau 12 présente un résumé du projet et de ses retombées pour la communauté.

Treize des vingt systèmes installés alimentent en énergie des maisons individuelles, six peuvent alimenter deux maisons, et l'un d'eux peut alimenter trois maisons. Chaque foyer est muni d'un compteur pour mesurer sa consommation d'énergie et d'un commutateur de transfert pour une éventuelle connexion au réseau principal. Six systèmes sont capables d'exporter de l'énergie vers le réseau de Porto Rico; toutefois, la réglementation actuelle, administrée par le Puerto Rico Energy Bureau (office de l'énergie de Porto Rico) et l'entreprise de service public LUMA, n'autorise pas la facturation nette lorsque plusieurs foyers sont connectés à des panneaux photovoltaïques à Toro Negro (Deng et col., 2019). Par conséquent, la plupart des systèmes restent interconnectés sur le plan électrique, mais ne fournissent pas activement d'électricité au réseau. Plutôt que de maximiser la rentabilité économique, ils ont pour principale fonction d'alimenter directement les foyers en électricité, en particulier pendant les pannes de courant. Étant donné l'absence de données historiques sur la production d'énergie; il est encore plus difficile d'évaluer les tarifs ou de calculer le rendement des investissements. Le système a été conçu pour être résilient et profiter à la communauté plutôt que pour sa rentabilité financière. Maximo Solar était l'entreprise chargée de la construction du miniréseau, et SunSol LLC en était le fournisseur. SunSol facture actuellement des frais mensuels de 735 \$ US pour l'entretien de base et l'administration de tous les systèmes (communication personnelle avec José Figueroa, leader communautaire à Toro Negro, 31 mai 2025).



Tableau 12. Résumé du projet de Toro Negro

Détails du projet	Description
Technologie	Miniréseau de panneaux solaires et de stockage
Capacité installée	PV : 83 kW (courant alternatif) SSEB : 116 kWh (Deng et coll., 2019; FCPR, 2019)
Échéancier	L'ouragan Maria a frappé l'île en septembre 2017, et la panne d'électricité qui a suivi a duré huit mois. L'électricité a été rétablie le 25 mai 2018 (FCPR, 2018); les panneaux photovoltaïques et les SSEB ont été mis en service en août 2018 (Comunidad Toro Negro, 2024).
Coût total	Plus de 400 000 \$ US (East Penn Manufacturing, 2020).
Sources de financement	FCPR et Somos Solar
Responsable du projet et partenaires clés	Partenaires clés : José Figueroa, Comunidad Toro Negro, FCPR et Somos Solar
Structure de propriété	<i>La Comunidad Solar Toro Negro est propriétaire de tous les systèmes.</i>
Retombées du projet	<ul style="list-style-type: none"> Malgré une baisse des coûts énergétiques initiaux par rapport à ceux du réseau national, le miniréseau fonctionne désormais à perte, étant donné des recettes insuffisantes. Seule la phase d'installation a créé des emplois, l'entretien continu étant confié à des entités externes; on n'a ainsi généré que quelques emplois à l'échelle locale. Même si la communauté produit son électricité de façon autonome, le fait de devoir confier la gestion du système à des entreprises externes fait empêcher une véritable indépendance. On voit ainsi les vrais défis de la durabilité à long terme. Le passage à l'énergie solaire a éliminé la dépendance aux génératrices à combustibles fossiles. En évitant les infrastructures à grande échelle, comme les lignes électriques, le projet a préservé la biodiversité locale et a réduit au minimum la perturbation de l'habitat dans les écosystèmes de Toro Negro. La gouvernance communautaire du miniréseau a renforcé la cohésion et la fierté locales. Les habitants ont acquis une expérience pratique des systèmes d'énergie renouvelable, ce qui les a sensibilisés aux pratiques durables.

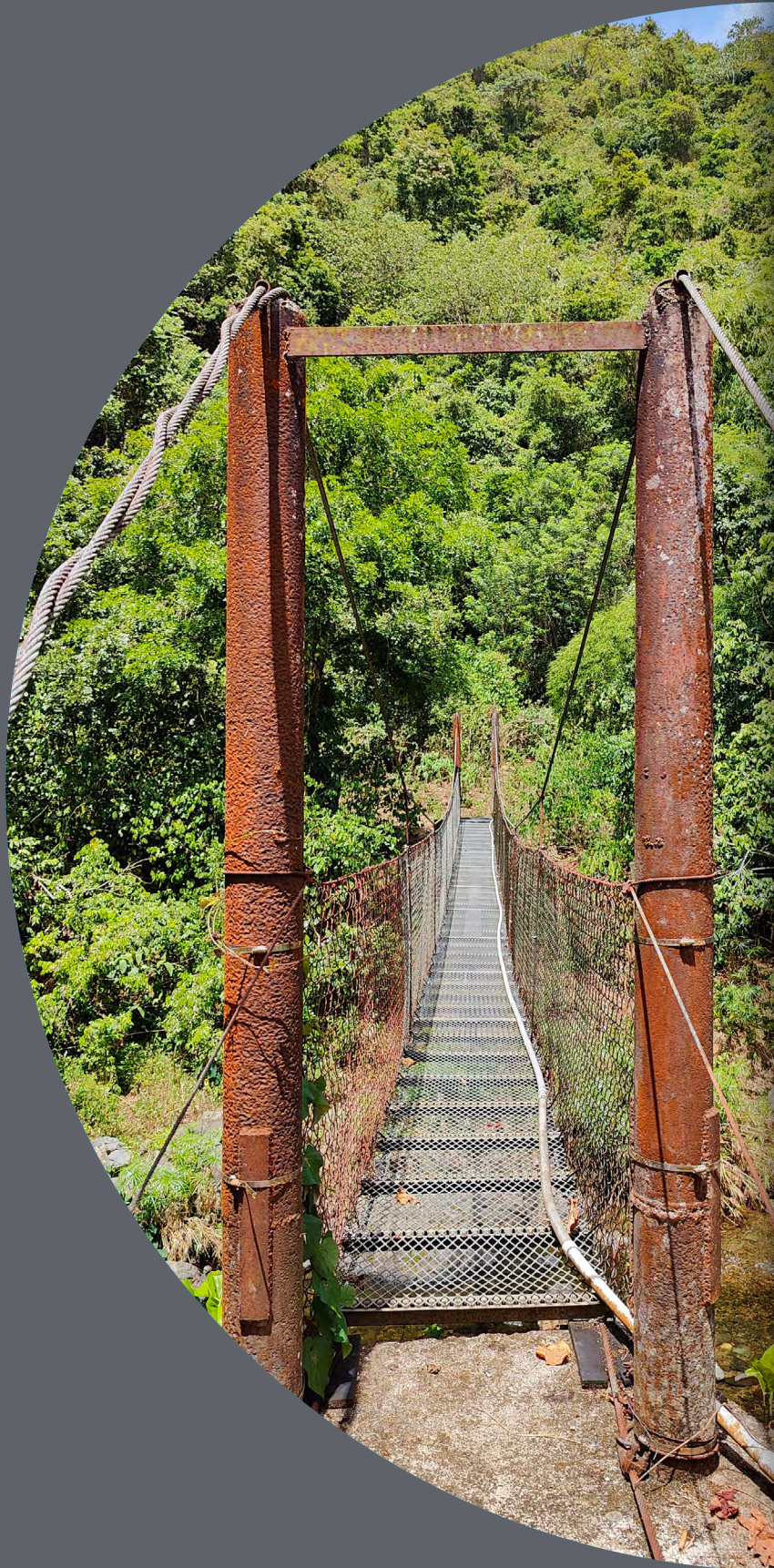


Tableau 13. Résultats des entrevues menées à Toro Negro, par phase de développement du projet

Phase de développement du projet

Principaux résultats

Planification

- Lancé après l'ouragan Maria pour répondre à des besoins énergétiques urgents, le projet a été dirigé localement par le leader communautaire José Figueroa, avec le soutien institutionnel de la FCPR et de Somos Solar. Ce travail collaboratif a priorisé la résilience après la tempête pour garantir une alimentation électrique de base aux foyers et aux services essentiels.
- Des difficultés d'intégration sont apparues étant donné l'incompatibilité du projet avec le système de facturation nette de Porto Rico.

Sélection et approvisionnement de la technologie

- On a sélectionné les panneaux photovoltaïques et les SSEB pour leur modularité, leur fiabilité et leur adaptabilité aux régions éloignées, de manière à assurer une installation et un entretien efficaces. La communauté a ainsi pu accéder à l'indépendance énergétique après l'ouragan Maria et répondre à ses besoins urgents en électricité fiable.
- La configuration décentralisée témoigne de la priorité accordée à la résilience afin d'assurer la souplesse et la redondance de l'ensemble du système.
- La technologie retenue renforce la capacité de la communauté à gérer efficacement les solutions énergétiques. Elle constitue un exemple pour d'autres régions rurales où l'on voudrait atteindre une indépendance énergétique durable.

Financement et permis

- La FCPR et Somos Solar ont donné l'équipement à la communauté.
- Peu après l'installation du miniréseau à Toro Negro, en mai 2018, la Puerto Rico Energy Commission (Commission de l'énergie de Porto Rico) a publié le Regulation on Microgrid Development (règlement 9028 sur le développement des miniréseaux). En septembre de la même année, la Comunidad Solar Toro Negro s'est conformée aux exigences d'enregistrement et de certification auprès du Regulatory Board of Public Service (Conseil de réglementation des services publics) du gouvernement de Porto Rico.

Installation et mise en service

- L'installation a été réalisée par Maximo Solar.

Exploitation

- Un conseil d'administration élu en 2019, actuellement composé de quatre membres, assure la gouvernance du miniréseau de Toro Negro. Les membres de la communauté participent bénévolement à l'administration.
- Une expertise technique manque au sein de la communauté. En effet, celle-ci doit faire appel à du soutien externe pour l'entretien et le diagnostic du réseau, compétences qui font défaut aux membres de la communauté. Ces derniers peuvent faire des dépannages de base, mais doivent déboursier 250 \$ US pour qu'un technicien se déplace s'ils ont besoin d'assistance technique plus poussée.
- SunSol, l'actuel gestionnaire du miniréseau, facture un montant global de 735 \$ US par mois pour l'entretien des panneaux solaires et des batteries, le relevé des compteurs, la facturation et la perception des paiements mensuels.

Principaux résultats

Établi après l'ouragan Maria pour répondre à des besoins énergétiques urgents, le miniréseau de Toro Negro, à Porto Rico, est le premier miniréseau solaire communautaire sur l'île. Ce miniréseau connaît certains problèmes d'intégration de dans le réseau centralisé et les politiques de facturation nette de Porto Rico. Malgré tout, il continue de fonctionner et de mettre en valeur le leadership de la communauté et son engagement envers le développement durable. L'organisme à but non lucratif Comunidad Solar Toro Negro en assure la gouvernance, qui met l'accent sur l'engagement communautaire, l'équité des tarifs et une exploitation transparente. La confiance et l'esprit de coopération qui règnent au sein de cette communauté très soudée ont été au cœur du succès de ce miniréseau. Toutefois, son entretien exige un soutien technique externe, et l'insuffisance des recettes soulève des problèmes de viabilité. Le tableau 13 résume les principaux résultats des entrevues, par phase de développement du projet.



Malgré les difficultés, le miniréseau continue de fonctionner, ce qui témoigne du leadership et de la capacité d'adaptation de la communauté et de son engagement en matière de développement durable. Grâce à ce projet pionnier, Toro Negro a pu maintenir son autonomie énergétique et montrer la force de sa capacité organisationnelle. Elle a aussi établi un précédent pour d'autres projets communautaires d'énergie renouvelable à Porto Rico et au-delà. Le projet montre comment le leadership local, combiné à des cadres institutionnels, peut générer des solutions efficaces et durables, malgré d'importants défis. Les consultations et entrevues menées auprès des membres de la communauté de Toro Negro permettent de tirer plusieurs enseignements clés :

- Le succès du miniréseau de Toro Negro montre l'importance d'un leadership fort et de la participation communautaire à la planification, à la mise en œuvre et à la gestion du projet.
- Des structures de gouvernance solides, inclusives et transparentes ont été essentielles pour maintenir les opérations et relever les défis au sein de la communauté.
- Malgré son succès opérationnel, le projet illustre la difficulté pour les projets énergétiques en milieu rural d'atteindre la viabilité financière sans subventions externes ou sans sources de recettes complémentaires.

- Le projet a donné des moyens à la communauté. Or, le recours à des entités externes pour l'entretien et l'expertise technique souligne la nécessité de renforcer les capacités locales. Il existe un besoin évident de formation technique et d'éducation communautaire continue afin de renforcer l'autonomie et de réduire la dépendance à l'égard du soutien externe.
- Résiliente, la configuration décentralisée a néanmoins mis au jour des inefficacités dans la distribution d'énergie et la difficulté à relier les systèmes multirésidences au réseau sans risquer de problèmes de comptabilité de l'énergie. L'incapacité d'exploiter pleinement la facturation nette à cause de limites à la conception a réduit l'efficacité et la rentabilité potentielles du système.
- Malgré la collecte de données d'utilisation et l'adoption d'un tarif standard par kilowatt-heure, les coûts d'exploitation demeurent supérieurs aux recettes générées.

L'expérience de Toro Negro montre toute l'importance de la participation communautaire, de structures de gouvernance solides et du soutien continu d'organisations externes. Les recommandations et les prochaines étapes pour la communauté comprennent :

- Rechercher des sources de financement ou des subventions complémentaires pour compenser les coûts opérationnels et réparer les systèmes qui ne sont actuellement pas opérationnels. Collaborer avec les responsables des politiques afin de garantir un soutien continu aux projets énergétiques communautaires.
- Prioriser la collecte de données détaillées sur la performance et les coûts actuels du système en vue d'affiner la conception du miniréseau et d'assurer une utilisation efficace des nouveaux fonds dans un souci de durabilité à long terme.
- Élaborer et mettre en œuvre des programmes de formation afin que les membres de la communauté acquièrent les compétences techniques nécessaires à l'entretien et au dépannage du système. Étudier la possibilité de transférer certaines responsabilités d'entretien, d'entités externes à des intervenants locaux.
- Corriger les problèmes techniques relatifs aux inefficacités de distribution d'énergie et aux systèmes multirésidences, afin d'améliorer la compatibilité avec la facturation nette. Encourager des modifications de la réglementation afin de rendre les miniréseaux plus compatibles avec les infrastructures énergétiques existantes et d'encourager les projets d'énergie renouvelable en milieu rural.
- Étudier la faisabilité d'un système de facturation en ligne.
- Élaborer une stratégie à long terme pour s'adapter à l'évolution des besoins énergétiques et des conditions environnementales.

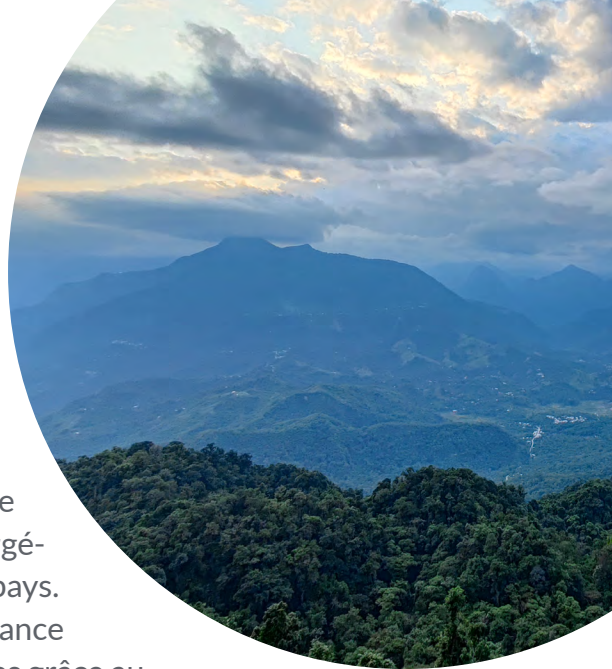
Études de cas au Mexique

Vue d'ensemble

Les communautés mexicaines sélectionnées faisaient partie d'un programme fédéral ayant pour objet de fournir l'accès à l'électricité aux populations qui en sont encore privées. Ce programme adhère au concept de justice énergétique, qui vise à réduire la pauvreté énergétique² dans le pays. *Le Secretaría de Energía* (SENER, ministère de l'Énergie) finance l'électrification des zones urbaines marginalisées et rurales grâce au Fondo de Servicio Universal Eléctrico (FSUE, Fonds pour un service électrique universel) depuis 2017 (SENER, 2017).

Le SENER assure la gestion et la mise en œuvre du programme, incluant la diffusion, la sélection de candidats et l'exécution des projets, par l'intermédiaire de la *Comisión Federal de Electricidad* (CFE, Commission fédérale de l'électricité). Pour sa part, le *Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.* (Banobras, Banque nationale des travaux et services publics) agit en tant que fiduciaire du FSUE. Un des volets de ce programme finance l'installation de solutions d'énergie renouvelable, notamment des panneaux photovoltaïques et des SSEB isolés pour des collectivités sans électricité se trouvant à plus de 5 km du réseau principal. Les communautés retenues pour une étude de cas ont bénéficié du FSUE de cette façon. Elles se trouvent dans les États du Sonora, du Tamaulipas et du Veracruz. Ces communautés n'avaient pas accès à l'électricité, étant situées dans des régions où le prolongement du réseau n'est pas techniquement ou économiquement viable. La réalisation de ces projets revient au FSUE, créé dans le cadre de la réforme énergétique de 2013 – en vertu de la *Ley del Sector Eléctrico* (Loi sur l'industrie électrique), afin de réduire la pauvreté énergétique dans les collectivités mal desservies. Le programme reflète les objectifs nationaux en matière d'équité sociale et de durabilité, grâce à des investissements publics dans l'électrification hors réseau. Début 2025, on a mis à niveau le FSUE afin d'étoffer son catalogue de solutions énergétiques admissibles. Celui-ci comprend désormais la production décentralisée, les systèmes d'autoconsommation et les systèmes solaires isolés de manière à permettre des approches plus souples adaptées aux conditions locales. Des renseignements supplémentaires sur le fondement juridique et la structure du FSUE figurent en annexe.

² Définie dans la *Ley de Planeación y Transición Energética* (Loi sur la planification et la transition énergétiques) comme la situation dans laquelle les ménages ne peuvent pas satisfaire à leurs besoins énergétiques de base en raison de faibles revenus ou de carences sociales (art. 3, Fracc. XXI). La justice énergétique se traduit alors par des actions visant à réduire la pauvreté énergétique (art. 3, Fracc. XVI).



Contrairement à d'autres régions au Canada et aux États-Unis étudiées dans le présent rapport, où les stratégies de mise en œuvre et de financement varient, au Mexique, le SENER finance de manière centralisée les projets par l'intermédiaire du FSUE. Ce modèle centralisé garantit l'uniformité du financement, de la sélection de technologie et de la gestion de projets, toutes les phases étant coordonnées par la CFE. Les aspects clés, tels que le financement, la délivrance de permis et l'utilisation de technologies standardisées, sont abordés dans la section 4.2, car ils sont identiques pour tous les projets FSUE. Les sections 4.3 à 4.5 portent sur les retombées locales et les défis propres aux collectivités éloignées et hors réseau sélectionnées pour une étude de cas, où ont été installés des systèmes photovoltaïques autonomes. Méthodes fédérales d'expansion de l'approvisionnement énergétique hors réseau



Méthodes fédérales d'expansion de l'approvisionnement énergétique hors réseau

Le FSUE souhaite réduire la pauvreté énergétique en fournissant des infrastructures qui permettent l'accès à l'électricité aux utilisateurs domestiques qui en sont privés. Elle fournit aussi des équipements et technologies efficaces utilisant l'énergie renouvelable pour répondre aux besoins de base, comme la préparation des aliments, la réfrigération, le chauffage de l'eau et l'éclairage, entre autres. Par ses actions, le FSUE permet de répondre aux besoins énergétiques de base des collectivités rurales et des zones urbaines marginalisées. Or, pour ce faire, il faut mettre en place des mécanismes pour surveiller le fonctionnement des équipements et des systèmes installés, et en assurer l'entretien dans la mesure du possible.

Le FSUE vise à soutenir l'électrification des communautés éloignées et mal desservies au Mexique. Pour ce faire, il facilite l'extension du réseau électrique et le déploiement de systèmes décentralisés d'énergie renouvelable (p. ex. les panneaux solaires photovoltaïques), en priorisant les populations rurales et autochtones. Le présent rapport s'intéresse uniquement à l'installation de systèmes décentralisés d'énergie renouvelable et ne traite pas de l'extension du réseau électrique. Tous les systèmes étant hors réseau et non interconnectés au réseau électrique national, la facturation nette ne s'applique pas. Le FSUE fonctionne selon un cadre transparent qui comprend la soumission de propositions et la hiérarchisation des projets en fonction de leurs retombées sociales et de leur rentabilité. Les principaux partenaires, y compris la CFE, les municipalités et les entités privées, collaborent à la mise en œuvre de projets qui réduisent la pauvreté énergétique, améliorent les conditions de vie et augmentent les chances de durabilité à long terme par divers moyens : technologies standardisées, formation offerte aux membres des communautés et obligations imposées aux sous-traitants, basées sur la performance. La figure 1 résume le processus de présentation de candidatures du FSUE.



Figure 1. Processus de candidature du FSUE



Source : communication personnelle avec Antonio Alcaraz, Ociel Ong Rubio et Juan Pablo González, de la CFE, le 6 septembre 2024.

Planification, sélection et approvisionnement de la technologie

La sélection de petits systèmes photovoltaïques isolés pour électrifier les régions rurales repose sur leur côté pratique, leur rentabilité et leur capacité à répondre aux besoins énergétiques de base des ménages (Opiyo, 2020). Ces types de systèmes sont spécialement conçus pour fournir des services essentiels, comme l'éclairage et la recharge de petits appareils électriques. Ils répondent ainsi aux besoins énergétiques immédiats de communautés mal desservies (Kabir et coll., 2017). De plus, comme ils sont faciles à installer et requièrent un entretien minimal, ils conviennent parfaitement aux régions éloignées, où il est difficile d'installer des infrastructures et où l'accès à une assistance technique est limité.

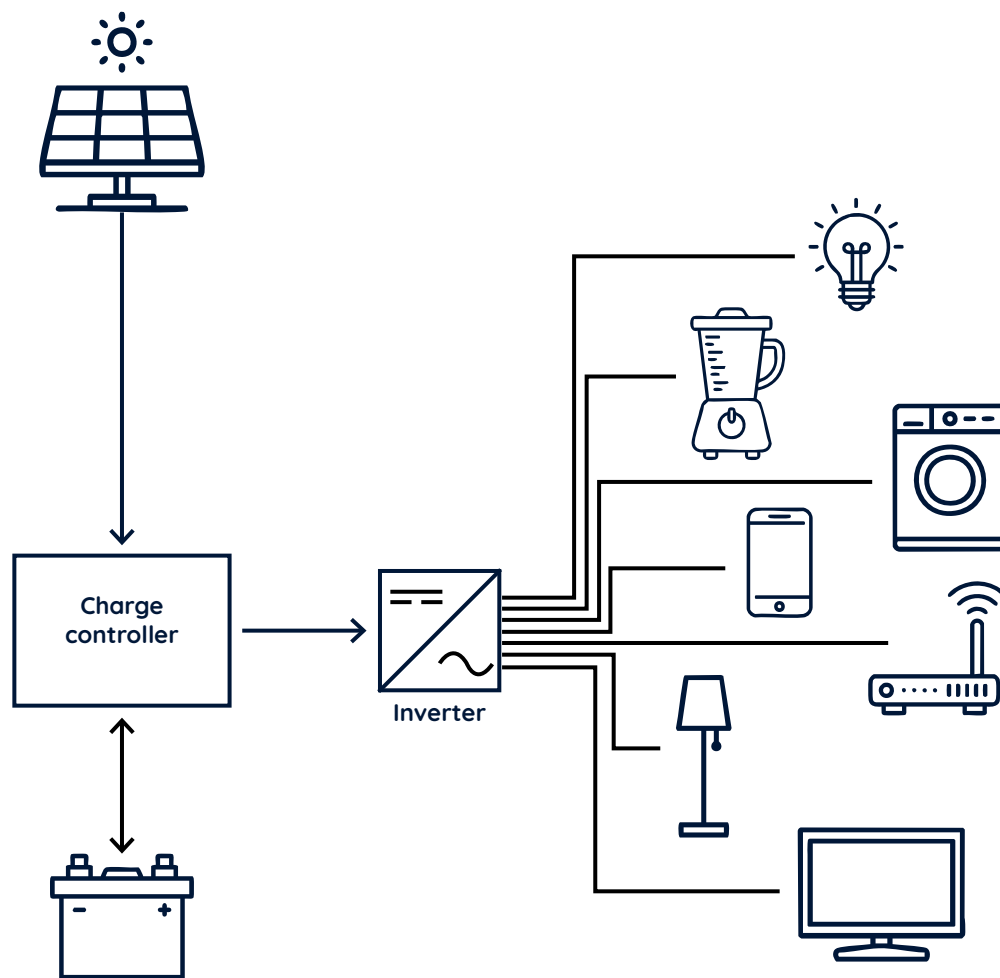
Pour dimensionner les systèmes, le SENER a opté pour une solution universelle, compte tenu du manque de données sur la consommation d'électricité, et des dépenses et du temps requis pour collecter des renseignements détaillés. De plus, la composition démographique en constante évolution de nombreuses localités, entraînée par la mobilité entre régions rurales et urbaines et les tendances migratoires, favorise la volatilité des données existantes et complique leur interprétation (FAO, 2018). Le tableau 14 résume les critères précis et les hypothèses de dimensionnement adoptés par le SENER pour les trois projets analysés (SENER, 2018a; voir aussi Flores-Espino et coll., 2021). Il convient de noter que ces lignes directrices s'appliquaient expressément aux trois projets analysés ici. Dans l'avenir, les projets seront soumis au cadre mis à jour par la Ley de la Empresa Pública del Estado (Loi sur l'entreprise publique – la CFE) (Secretaría de Gobernación, 2025). Au début du programme, la capacité minimale des systèmes résidentiels était de 300 W, mais depuis 2024 cette capacité minimale est passée à 550 W. Pour les projets à usage commercial d'électricité, les centres de réunion et/ou les petits « centres de santé », cette capacité minimale est de 1 200 W.

Dans chaque communauté, les ménages ont choisi eux-mêmes de participer au projet en soumettant des documents de base, par exemple, des pièces d'identité et attestations de résidence. Les leaders communautaires et organisations de soutien ont participé à la compilation des demandes en vue de les soumettre collectivement à la CFE. Si le projet était approuvé, tous les ménages admissibles qui avaient déposé une demande recevaient des panneaux photovoltaïques et un SSEB. Le nombre final de systèmes installés reflète donc la proportion de membres de la communauté qui ont suivi le processus de demande, plutôt que de l'ensemble de la population. La sélection des entrepreneurs pour ce projet a fait l'objet d'un appel d'offres concurrentiel, et ils variaient selon la communauté ou la région. Les critères de sélection étaient axés sur les normes techniques et de qualité de manière à assurer la compatibilité avec les besoins d'installations éloignées et hors réseau. Le fournisseur sé-

lectionné a fourni non seulement le matériel, mais aussi des manuels d'utilisation, et offert des séances de formation aux résident·es sur la manière d'utiliser les systèmes. Les contrats avec les fournisseurs ne sont pas toujours standards, ce qui permet aux entrepreneurs d'offrir des services et des systèmes différents, tout en maintenant des exigences minimales.

Le tableau 15 présente les systèmes installés dans chaque communauté, et la figure 2 présente les appareils électriques et électroménagers typiques utilisés dans les bâtiments résidentiels. Le tableau 16 présente les coûts individuels des systèmes pour chaque type d'installation, soit les résidences, les centres communautaires, les écoles et les centres de santé.

Figure 2. Appareils et électroménagers qu'on trouve habituellement dans les communautés mexicaines après leur électrification



Source : communications personnelles avec la CFE et les membres de la communauté, 2024.



Tableau 14. Hypothèses de dimensionnement des panneaux solaires et du SSEB pour chaque type de bâtiment relevant du FSUE

Paramètre	Type de bâtiment			
	Résidentiel	École	Centre de santé	Centre communautaire
Caractéristiques du bâtiment	Salle à manger/salon, cuisine et deux chambres, 48 mètres carrés	Deux salles de classe	Une salle d'examen et une salle d'attente	Non précisé
Estimation de la consommation	Consommation quotidienne minimale de 750 Wh	2 300 Wh, 5 jours par semaine	4 000 Wh, un jour par semaine	Consommation quotidienne minimale de 1 000 kWh
Capacité minimale des panneaux solaires	300 W	900 W (3 x 300 W)	1 200 W (4 x 300 W)	1 200 W (4 x 300 W)
Production quotidienne moyenne	1 320 kWh	3 960 kWh	5 280 kWh	5 280 kWh
Capacité de l'onduleur	1 200 W	1 200 W	1 200 W	1 200 W
Infrastructure électrique fournie en complément aux panneaux PV et du SSEB	Quatre luminaires, deux prises électriques, deux interrupteurs, câblage, connecteurs et protections requises	Cinq luminaires, quatre prises électriques, cinq interrupteurs, câblage, connecteurs et protections requises	Cinq luminaires, quatre prises électriques, cinq interrupteurs, câblage, connecteurs et protections requises	Cinq luminaires, quatre prises électriques, cinq interrupteurs, câblage, connecteurs, compteurs et protections requises
Durée de vie des panneaux PV	>10 ans*			
Durée de vie du SSEB	À changer tous les 4 ans**			

Source : SENER (2018a).

* Ce nombre était indiqué dans la documentation de la CFE relative au projet; toutefois, les panneaux photovoltaïques ont généralement une vie opérationnelle d'environ 25 ans dans des conditions normales.

** Ce chiffre était indiqué dans la documentation de la CFE relative au projet; toutefois, un SSEB a généralement une vie opérationnelle d'environ 15 ans dans des conditions normales.

Tableau 15. Système installé pour chaque projet énergétique communautaire au Mexique dans le cadre du FSUE

Renseignements sur le système	Yoloxochio	San José de Natora	Magdaleno Aguilar
Lieu	Zongolica, Veracruz (18° 35'56.20"N, 96° 51'19.01"O)	Sahuaripa, Sonora (29° 2'52.00"N, 108° 45'33.00"O)	Llera, Tamaulipas (23° 8'38.55"N, 98° 26'29.42"O)
Nombre de panneaux PV et de SSEB résidentiels (>300 W)	46	72	19
Nombre de panneaux PV et de SSEB communautaires (>1 200 W)	0	4	0
Nombre de panneaux PV et de SSEB d'école (>900 W)	0	3	0
Nombre de panneaux PV et de SSEB de centre de santé (>1 200 W)	0	1	0
Capacité totale	13,8 kW	30,3 kW	5,7 kW
Capacité de stockage des batteries	60,72 kWh	102,32 kWh	25,08 kWh



Tableau 16. Coût d'un système individuel de panneaux PV et de SSEB pour chaque type de bâtiment visé par le FSUE

Type de bâtiment	Coût de chaque système*	
	Pesos mexicains	Dollars US
Résidentiel	54 964,55	2 913,12
Centre communautaire	154 929,98	8 211,29
École	55 587,00	3 200,00
Centre de santé	77 380,00	4 500,00

Source : *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático* (Institut national de l'écologie et des changements climatiques), 2021 & communication personnelle avec Mariano Osvaldo Birlain Escalante de la SENER, 4 mars 2026.

Financement et permis

Le FSUE a financé les projets avec des fonds provenant du budget fédéral ainsi que des recettes du marché de l'électricité, que gère le Centro Nacional de Control de Energía (Centre national de contrôle de l'énergie). Ce financement a couvert l'achat, l'installation et la mise en service de panneaux photovoltaïques et de SSEB pour les communautés ainsi que l'installation électrique décrite dans le tableau 14.

Aucun permis particulier n'était requis pour les projets au-delà de l'autorisation accordée à la CFE par le SENER. Toutefois, le gouvernement fédéral mexicain s'est doté d'un cadre réglementaire pour les actions du FSUE. Ce cadre comprend :

- i) un cadre juridique et constitutionnel,
- ii) des règlements,
- iii) des plans et programmes,
- iv) des accords, lois ou lignes directrices (SENER, 2018b).

Installation et mise en service

Divers entrepreneurs, sélectionnés dans le cadre d'un appel d'offres concurrentiel organisé par la CFE, ont procédé à l'installation et à la mise en service des panneaux photovoltaïques et des SSEB. Le strict respect des directives techniques de la CFE et du SENER a fait en sorte que toutes les installations répondaient aux normes de sécurité, de qualité et de performance. Les hypothèses présentées dans le tableau 14 ont servi de base pour la conception et les spécifications du système. Malgré cela, les entrepreneurs ont souvent dû faire preuve d'ingéniosité pour relever les défis logistiques, comme transporter des batteries lourdes et de modules solaires en terrains accidentés et éloignés. Dans plusieurs cas, les membres de la communauté ont donné un coup de main au transport et à l'installation, s'appropriant ainsi davantage le projet à l'échelle locale. Cette participation concrète a renforcé leur rôle plus global dans l'appropriation du système, qui a amplement dépassé l'installation pour inclure la participation à la formation, à la supervision et à l'utilisation continue des systèmes en fonction des besoins de la communauté.



Exploitation

Les entrepreneurs sont liés par un contrat de performance de cinq ans conclu avec la CFE. Ce contrat prévoit qu'ils doivent corriger toute défaillance des composants ou tout dysfonctionnement du système. Cela comprend la réparation ou le remplacement des composants défectueux, tels que les batteries ou les onduleurs, afin de garantir la fiabilité du système. Le cadre du FSUE garantit que ces contrats peuvent varier selon les régions, mais qu'ils sont adaptés aux défis opérationnels initiaux, qui sont courants dans de nouvelles installations.

La phase d'exploitation des projets repose sur la formation offerte à la communauté ainsi que sur les obligations contractuelles des entrepreneurs envers la CFE. Après l'installation, les entrepreneurs procèdent à des essais de mise en service pour s'assurer que chaque système fonctionne comme prévu. En cas de problèmes plus graves, comme les pannes d'équipement ou les baisses de performance, les entrepreneurs sont tenus de trouver des solutions dans le cadre de leur accord quinquennal avec la CFE. Cette approche à deux volets (soutien des entrepreneurs et renforcement des capacités de la communauté) assure la durabilité des systèmes et favorise l'indépendance énergétique à long terme.



Beau temps, mauvais temps : l'énergie solaire à la rescousse à Yoloxochio-Zongolica

« C'est un avantage pour moi, car avant, nous consommions beaucoup de bougies, beaucoup de lampes à huile, et mes enfants [...] devaient faire leurs devoirs à la lueur d'une lampe à huile ou à piles. Ça me convient donc vraiment bien. »

Juana Hernández, membre de la communauté

Yoloxochio fait partie de la municipalité de Zongolica, située dans la région centrale de l'État du Veracruz de Ignacio de la Llave, dans la région des Altas Montañas (hauts sommets) de la Sierra Madre orientale. Le climat y est chaud et humide, et le territoire est composé de jungles, de forêts et de prairies (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010c). À Zongolica, plus de 58 % de la population est autochtone et on y parle le nahuatl, le mixtèque, le mazatèque, le zapotèque et le zoque, entre autres. La petite communauté de Yoloxochio compte 359 habitants. Ses membres ont indiqué l'agriculture (surtout la culture du café) et l'élevage comme principales activités économiques de la région.

Certaines parties de la communauté sont raccordées au réseau électrique principal, tandis que d'autres n'avaient pas l'électricité avant la création du FSUE. Les conditions routières sont difficiles, et les membres de la communauté sont dispersés sur un territoire accidenté. Certains, n'ayant aucun autre moyen de transport, doivent parcourir de longues distances à pied pour se rendre au principal pôle d'activités de la communauté. De plus, les zones de la communauté raccordées au réseau électrique principal subissent des pannes de courant fréquentes en raison de vents violents et de tempêtes, en particulier pendant la saison des pluies.



Résumé du projet de transition énergétique

Ce projet est le fruit du travail coordonné de la CFE, de l'administration municipale, de l'*Instituto Tecnológico Superior de Zongolica* (Institut technologique supérieur de Zongolica) et de l'*organisme Fondo para la Paz* (Fonds pour la paix) a permis (CFE, s. d.). Ce dernier a joué un rôle déterminant dans le développement du projet, ayant pris part à la sélection des communautés de la municipalité. Il a aussi fourni gratuitement des services de traduction (de l'espagnol au nahuatl et vice versa) pour la séance de formation des membres de la communauté à l'entretien et au fonctionnement (communication personnelle avec Juan Pablo González de la CFE, 21 juin 2024). Le tableau 17 présente un résumé du projet et de ses retombées.

Les membres de la communauté qui sont raccordés au réseau principal ont indirectement bénéficié du FSUE. En effet, lorsque des vents violents entraînent une panne du réseau principal, les foyers munis de panneaux photovoltaïques et de SSEB isolés partagent leur électricité avec leurs voisins touchés afin de répondre à leurs besoins électriques de base. Après l'installation de ces systèmes, Maurilio Tlehuac, un habitant de la région, a lancé avec ses deux fils une entreprise proposant des services de dépannage et d'entretien de base pour les panneaux PV et les SSEB installés dans la communauté.

Dans le cadre de la conception générale du programme du FSUE, le projet Yoloxochio a inclus une perspective de genre dès la phase de planification. L'objectif était d'améliorer la qualité de vie des femmes, d'accroître leur accès à l'éducation et de favoriser leur participation aux activités communautaires. Parmi les actions spécifiques mises en œuvre, on peut citer :

- Formation technique pour les femmes à la gestion, au fonctionnement et à la maintenance des modules solaires.
- Ateliers sur l'égalité des sexes et les droits humains, encourageant la réflexion sur les rôles sociaux et la participation communautaire.
- Activités ludiques et éducatives pour les filles et les garçons, axées sur les valeurs, l'utilisation responsable de l'énergie et la culture de la paix.
- Espaces de discussion pour l'analyse de l'impact de l'électrification sur la vie des femmes, favorisant leur autonomie et leur capacité d'action.



- Enseignement bilingue (espagnol-nahuatl) pour garantir l'inclusion culturelle.
- Enquête de suivi adaptée au genre pour évaluer les impacts différenciés entre les femmes et les hommes.
- Participation active des femmes en tant qu'actrices décisionnaires dans le processus d'électrification.

Ces mesures reflètent les engagements nationaux pour promouvoir l'égalité des sexes par des projets d'électrification rurale. Il sera important de maintenir l'engagement communautaire pour concrétiser pleinement des avantages à long terme escomptés grâce à cette approche.

Principaux résultats

Du point de vue de la communauté, ce projet a favorisé un profond sentiment de coopération et d'adaptation. Les résident-es ont adopté ces systèmes et partagent souvent l'électricité avec leurs voisins qui n'en bénéficiaient pas directement, ce qui témoigne de leur esprit communautaire. Toutefois, la performance mitigée des systèmes et le manque de soutien technique constant mettent en évidence le besoin d'améliorer les infrastructures et la formation. Ce projet a permis de réaliser des progrès significatifs, mais il révèle l'importance de relever les défis techniques et opérationnels si l'on veut garantir la durabilité à long terme et un accès à l'électricité pour l'ensemble de la communauté. Le tableau 18 résume les principaux résultats des entrevues menées à Yoloxochio.



Malgré les défis que la communauté de Yoloxochio a dû relever, son fort esprit de coopération s'est révélé être un atout essentiel, comme en témoignent les voisins qui partagent l'électricité et s'attaquent ensemble aux problèmes. D'autres collectivités au Mexique pourraient suivre l'exemple de Maurilio Tlehuac, qui a lancé une entreprise de dépannage et d'entretien avec ses fils, pour améliorer le renforcement des capacités. Plusieurs enseignements tirés de l'expérience de Yoloxochio méritent d'être soulignés :

- L'esprit de coopération qui règne à Yoloxochio constitue un atout considérable. Les voisins partagent souvent l'électricité et débroussaillent ensemble; cela montre que cette ressource peut appuyer des projets.
- Le relief accidenté et les conditions environnementales à Yoloxochio compliquent le transport, l'installation et l'entretien des systèmes. Les fortes pluies et les chutes de branches endommagent fréquemment les équipements de production d'énergie solaire. Il est donc essentiel de se doter de systèmes plus durables.
- Des guides visuels ont aidé les résident-es dans la gestion et la réparation des systèmes, même celles et ceux qui ne savaient ni lire ni écrire. Dans l'avenir, il faudra définir des attentes claires et fournir de meilleures ressources pour le dépannage.

Voici ce que pourraient être les prochaines étapes de la transition énergétique à Yoloxochio :

- Améliorer les transports et les communications afin de surmonter les obstacles à la mise en œuvre et à l'entretien, en particulier en régions éloignées.
- S'assurer d'inclure autant de ménages que possible (où qu'ils se trouvent) dans les projets d'électrification, afin de réduire la frustration de la population et d'améliorer la mobilisation.
- Simplifier et accélérer les processus gouvernementaux de manière à réduire les retards dans la fourniture à la communauté de ressources et d'avantages approuvés.



Table 17. Résumé du projet de Yoloxochio-Zongolica

Détails du projet	Description
Capacité installée	13,8 kW (voir les détails dans le tableau 15)
Échéancier	Décembre 2020 à avril 2021
Coût total	2 047 011 pesos (102 335 \$ US)
Sources de financement	Gouvernement fédéral mexicain
Responsable du projet et partenaires clés	<i>Fondo para la Paz</i> , SENER, CFE
Propriété	Propriété individuelle
Retombées du projet	<ul style="list-style-type: none"> • Les petites entreprises – ateliers de menuiserie et commerces – ont pu étendre leurs services et augmenter leur productivité grâce à un approvisionnement électrique fiable. Des membres d’une famille locale se sont spécialisés dans la réparation de systèmes photovoltaïques pour profiter d’un créneau commercial. • Le projet a renforcé les liens communautaires, les ménages partageant l’électricité d’origine solaire pour leurs besoins quotidiens (p. ex. pour recharger leurs téléphones et alimenter leurs appareils électriques), de manière à favoriser la résilience et l’interdépendance. Les activités collaboratives, comme l’organisation de corvées d’entretien pour réduire l’ombre causée par la végétation, soulignent la résolution de problèmes collectifs de la communauté et son engagement à maintenir l’accès à l’énergie. • En optant pour des panneaux solaires photovoltaïques et des SSEB plutôt que pour du kérosène comme source d’énergie pour l’éclairage, la communauté évite de rejeter 15,04 t d’équivalent dioxyde de carbone (éq. CO₂) par an (communication personnelle avec José Vicente Hernández, de la CFE, 2 avril 2024). • Un meilleur éclairage ménager a renforcé la sécurité des femmes; certaines membres de la communauté, dont une résidente interviewée, ont déclaré se sentir plus en sécurité la nuit grâce à une alimentation électrique fiable.



Tableau 18. Résultats des entrevues menées à Yoloxochio-Zongolica, par phase de développement du projet

Phase de développement du projet	Principaux résultats
Planification	<ul style="list-style-type: none">• Cette phase a nécessité une importante coordination entre la communauté, le Fondo Para la Paz et la CFE. Les leaders locaux se sont assurés de soumettre aux bureaux centraux à Mexico les documents requis pour l’approbation du projet.• Le Fondo para la Paz a joué un rôle crucial dans le développement du projet en obtenant des financements et en fournissant gratuitement des services de traduction pour la formation des membres de la communauté à l’entretien et au fonctionnement (communication personnelle avec Juan Pablo González, de la CFE, 21 juin 2024).• Le retard dans l’autorisation du projet était un problème habituel, car les processus au fédéral prennent un temps considérable.
Sélection et approvisionnement de la technologie	<ul style="list-style-type: none">• En raison des conditions géographiques et de la dispersion des habitations à la date d’approbation du projet, il n’a pas été possible d’étendre le réseau électrique à ces communautés; par conséquent, des systèmes solaires photovoltaïques et SSEB ont été installés.• Voir également la section 4.2.1, « Planification, sélection et approvisionnement de la technologie ».
Financement et permis	<ul style="list-style-type: none">• Aucun résultat propre au projet, car les phases de financement et de délivrance de permis sont identiques pour tous les projets au Mexique (voir la section 4.2).
Installation et mise en service	<ul style="list-style-type: none">• Les membres de la communauté ont appuyé la phase d’installation en coordonnant les travaux avec les techniciens; l’aide directe apportée pendant le processus d’installation n’a pas été explicitement soulignée.• L’installation des systèmes a été suivie par leur mise à l’essai pour vérifier leur bon fonctionnement. Des séances de formation ont été organisées, mais certains participants ont signalé des lacunes dans la présentation de pratiques d’entretien de base. Des démonstrations pratiques ont aidé les membres de la communauté à comprendre le fonctionnement du système.• Des manuels décrivant en détail la bonne utilisation des systèmes ont été fournis à la majorité des résident·es. Par contre, cette distribution était partielle, et tous les ménages n’ont pas reçu les instructions d’entretien.
Exploitation	<ul style="list-style-type: none">• Les systèmes offrent une performance mitigée – on signale des pannes fréquentes et de composants défectueux en raison d’une surcharge. L’ombre des arbres et les défis saisonniers, comme la baisse d’efficacité pendant la saison des pluies, constituent d’importants obstacles opérationnels.• Les membres de la communauté ont suggéré l’augmentation de la capacité du système afin d’alimenter des appareils électroménagers plus puissants et d’améliorer les services d’entretien, pour garantir une fiabilité à long terme et répondre aux besoins futurs.• Malgré ces défis, la communauté a adopté ces systèmes et partage souvent l’électricité avec ses voisins qui n’en bénéficient pas encore. Cette approche coopérative reflète les liens communautaires étroits qui unissent les résident·es de Yoloxochio, et souligne le besoin d’étendre l’électrification.

Raccourcir les distances : la résilience énergétique à San José de Natora

« À l'école intermédiaire, il n'y avait pas d'éclairage; maintenant, avec l'électricité, c'est plus facile de travailler, car j'ai un ordinateur, une imprimante, une fontaine à eau et des ventilateurs pour la saison chaude. Et ici, chez moi, c'est la même chose : Internet, laveuse, réfrigérateur, éclairage... C'est agréable d'avoir de telles commodités. »

Yadira Urquijo Rivas, membre de la collectivité et enseignante

San José de Natora fait partie de la municipalité de Sahuaripa, dans l'État du Sonora, au nord-ouest du pays – État principalement désertique, au climat semi-sec et semi-chaud.

La région se caractérise par des rochers, des rivières et les paysages impressionnants de la chaîne de montagnes Sierra Madre Occidental. La végétation est principalement constituée de forêts, avec des prairies, des mesquites et des arbustes de régions désertiques (*Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010b*). En 2020, Sahuaripa comptait 5 245 habitants, soit 13 % de moins qu'en 2010 (*Secretaría de Economía, 2020*). Une petite partie de la communauté parle une langue autochtone. L'économie de la municipalité repose en grande partie sur l'agriculture (dont l'élevage), qui représente 1,25 % du territoire, et l'exploitation minière.

Les selles et tous les outils nécessaires à l'élevage sont également fabriqués dans la municipalité (*Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010b*).

San José de Natora est situé à 213 km à l'est d'Hermosillo, capitale de l'État, et plus près de la frontière avec l'État du Chihuahua voisin que de la capitale. Aucune route pavée ne relie directement San José de Natora au chef-lieu du comté de Sahuaripa. Pour s'y rendre, il faut prévoir huit heures de route sur des chemins de terre et des terrains accidentés. Les communes voisines les plus proches de Natora sont Guadalupe el Grande, qui se trouve à 10 km au sud, et Tunapa, à environ 15 km au nord. Aucune route pavée ne les relie, et seuls quelques membres de la communauté possèdent un véhicule. En raison de son éloignement (à 90 km du réseau principal) et de sa faible population (288 habitants), la communauté n'était toujours pas électrifiée avant la création du FSUE.



Résumé du projet de transition énergétique

San José de Natora était la plus grande des communautés mexicaines dont le projet a été sélectionné pour cette étude. La communauté compte 72 maisons munies de systèmes de 300 W, trois écoles munies de systèmes de 900 W, ainsi qu'une clinique médicale et quatre centres communautaires munis de systèmes de 1 200 W. La mise en service de panneaux photovoltaïques et de SSEB a amélioré la fiabilité de l'approvisionnement énergétique local, soutenu les petites entreprises et les services essentiels, et profité à l'ensemble de la communauté. Le tableau 19 présente un résumé du projet et de ses retombées.



Principaux résultats

La mise en œuvre réussie de l'énergie solaire dans la communauté repose sur une planification collaborative et un leadership local fort. Le tableau 20 résume les principaux résultats des entrevues menées à San José de Natora.

Les systèmes existants répondent aux besoins énergétiques de base des foyers, écoles et centres communautaires. Si l'entretien de ces systèmes est parfois difficile pour la communauté, les membres soulignent une amélioration considérable de leur qualité de vie suivant la mise en œuvre de ce projet. Voici les enseignements tirés du projet énergétique de San José de Natora :

- La collaboration municipale accélère considérablement la mise en œuvre du projet; sans elle, les progrès prendraient beaucoup plus de temps à se concrétiser. Le Comisariado Ejidal a joué un rôle central en aidant les résident·es à s'organiser et en simplifiant les processus administratifs. Pour sa part, le personnel municipal a fourni un soutien logistique essentiel, notamment dans la préparation et le dépôt des documents.
- Les panneaux photovoltaïques et les SSEB existants répondent uniquement aux besoins de base des foyers, écoles et centres communautaires. Ils ne suffisent pas aux besoins des entreprises et les besoins plus globaux de la communauté. Une solution plus efficace s'impose donc.

- Des règles claires en matière de propriété et d'utilisation des systèmes sont essentielles afin d'éviter des problèmes, comme le refus de résident·es d'interdire l'accès à l'électricité partagée.
- Des difficultés d'entretien persistent en raison de voies de communication mal définies. Il en résulte des retards dans le signalement des problèmes, malgré la réaction rapide de la CFE lorsqu'elle est informée.

Voici les prochaines étapes que pourrait prendre la communauté de San José de Natora :

- Rechercher un financement pour les besoins futurs en matière d'entretien. Les projets financés par le FSUE nécessiteront un soutien continu, même si les communautés sont désormais classées comme étant électrifiées.
- Adapter les infrastructures à la demande croissante en lançant des programmes d'aide grâce auxquels les résident·es peuvent acheter des appareils électroménagers, comme des réfrigérateurs, ventilateurs ou laveuses, maintenant qu'une alimentation électrique stable est en place.
- Former et désigner du personnel technique local chargé de l'entretien et des réparations. S'assurer en outre qu'il possède les connaissances et outils nécessaires pour gérer les équipements, et communiquer avec la CFE lorsqu'une aide externe s'impose.
- Fournir des pièces de rechange et des ressources à l'échelle locale afin de réduire la dépendance à l'égard d'une aide extérieure et de minimiser les retards de transport causés par l'éloignement de la communauté.
- Offrir une formation et des ressources aux résident·es pour favoriser le développement de petites entreprises. Celles-ci pourraient tirer parti de l'électricité pour la réfrigération, les réseaux Wi-Fi ou d'autres technologies et ainsi stimuler le développement économique.



Tableau 19. Résumé du projet de San José de Natora

Détails du projet	Description
Capacité installée	30,3 kW (voir les détails dans le tableau 15)
Échéancier	Juin à décembre 2021
Coût total	4 082 983 pesos (204 149 \$ US)
Sources de financement	Gouvernement fédéral mexicain
Responsable du projet et partenaires clés	SENER, CFE, autorités locales et municipales
Propriété	Propriété individuelle
Retombées du projet	<ul style="list-style-type: none">• Ce projet procure une alimentation électrique constante qui a permis d'éliminer le recours à d'autres méthodes souvent coûteuses pour assurer l'éclairage, la réfrigération et les tâches ménagères quotidiennes, libérant ainsi des fonds qui peuvent servir à d'autres fins. Les membres de la communauté ont exprimé leur satisfaction par rapport à l'énergie propre que produit le système. Celui-ci a également suscité un intérêt pour les énergies renouvelables et les pratiques durables. L'utilisation de panneaux photovoltaïques et de SSEB permet d'éviter l'émission de 26,16 t d'éq. CO₂ par an par rapport à l'éclairage au kérosène (communication personnelle avec José Vicente Hernández, de la CFE, 2 avril 2024).• Un approvisionnement en électricité fiable a considérablement amélioré la qualité de vie. Des familles peuvent désormais conserver l'insuline en toute sécurité dans des réfrigérateurs plutôt que dans des seaux remplis de glace, un grand progrès pour la gestion du diabète. L'accès à des appareils électroménagers, comme les ventilateurs, les mélangeurs et les laveuses, a facilité les tâches quotidiennes, amélioré le confort lors d'événements météorologiques extrêmes et prolongé jusqu'en soirée les activités productives et sociales. Ces changements favorisent la santé, le confort et le renforcement des liens communautaires.



Tableau 20. Résultats des entrevues menées à San José de Natora, par phase de développement du projet

Phase de développement du projet

Principaux résultats

Planification

- Le Comisariado Ejidal (organe élu représentant les propriétaires fonciers communaux, ou ejidatarios) a joué un rôle clé en aidant la communauté à s'organiser et en facilitant le dépôt des documents nécessaires au projet.
- Les représentants de la municipalité, y compris le contraloría (contrôleur), ont fourni une assistance logistique, notamment pour l'impression, l'organisation et le dépôt des documents requis pour l'admissibilité.
- À l'échelle locale, leaders et résident-es se sont réunis pour définir les objectifs du projet et parvenir à un accord sur la participation. Les leaders ont expliqué aux résident-es les exigences administratives, garantissant la clarté du processus et renforçant la confiance dans le projet.

Sélection et approvisionnement de la technologie

- Aucune observation propre au projet, la sélection et l'approvisionnement de la technologie étant identiques pour tous les projets au Mexique (voir la section 4.2).

Financement et permis

- Aucune observation propre au projet, les phases de financement et de délivrance des permis étant identiques pour tous les projets au Mexique (voir la section 4.2).

Installation et mise en service

- Le manque d'infrastructures routières a compliqué le transport des équipements vers les sites éloignés.

Exploitation

- La phase d'exploitation repose en grande partie sur la formation offerte aux résident-es durant l'installation. Grâce à cette formation, des membres de la communauté peuvent exécuter de manière autonome les tâches d'entretien courant, notamment le nettoyage des panneaux solaires pour maintenir leur efficacité, la surveillance de l'état des batteries et l'utilisation optimale de l'énergie pour garantir la performance du système.
- Le remplacement des batteries est prévu après cinq ans, ce qui coïncide avec l'expiration de l'entente de service avec l'entrepreneur. Certaines batteries ont déjà été remplacées.
- Les systèmes sont généralement fiables, mais des pannes ou perturbations occasionnelles ont été signalées. Des pratiques d'entretien variables ou l'usure normale des composants sont souvent à l'origine de tels incidents.
- Les résident-es signalent à la CFE les problèmes liés au système, mais le processus n'est pas toujours uniforme. De plus, un membre de la communauté a reçu de l'énergie supplémentaire

Et la lumière fut : accès à l'énergie et coopération à Magdaleno Aguilar

« Nous sommes très heureux, parce que j'ai mon mélangeur, j'ai mon réfrigérateur, et ma viande et mon fromage restent frais. Et avant, je devais conserver mon insuline dans de la glace; alors maintenant, ce n'est plus un problème. Et nous sommes très reconnaissants. »

Rosa Fonseca Piñón, membre de la communauté

Magdaleno Aguilar est une toute petite communauté de 76 habitants, située au pied des chaînes de la Sierra Madre orientale et de la Sierra Tamaulipas, dans la municipalité de Llera, dans l'État du Tamaulipas, au nord-est du pays. Le terrain varie en altitude et en climat, et l'on y trouve aussi bien de hauts arbustes épineux sur les contreforts des montagnes que des arbustes plus bas ainsi que de basses-futaies composées de feuillus épineux dans la région centrale (*Instituto Nacional de Estadística y Geografía*, 2010a). L'économie repose principalement sur la culture, qui occupe 33 % du territoire, et sur l'élevage et l'apiculture à plus petite échelle. Les femmes de la région fabriquent des pots en argile et des grilles en fonte, ainsi que des nappes, des tissus en laine, des châles et du fil. Elles fabriquent également des chaises et des canapés en bois, ainsi que des balais en bois de palmier (*Instituto Nacional de Estadística y Geografía*, 2010a).

La route menant à Magdaleno Aguilar est accidentée, et la communauté se trouve à 12 km du réseau principal. Tout comme les autres communautés consultées pour la rédaction du présent document, Magdaleno Aguilar n'avait pas accès à l'électricité avant la création du FSUE, en raison de son éloignement et de sa faible population.



Résumé du projet de transition énergétique

Toute la communauté, qui compte 76 habitant·es, a bénéficié du FSUE grâce à l'installation de panneaux photovoltaïques et de SSEB dans 19 bâtiments résidentiels. Au départ, certains membres de la communauté hésitaient à soumettre leur dossier pour bénéficier du FSUE, mais ont changé d'idée après avoir constaté à quel point l'accès à l'électricité aidait leurs voisins. Un centre communautaire devrait également être électrifié grâce au FSUE. Le projet a également motivé la communauté voisine de Nuevo Progreso à postuler au programme, et les deux communautés ont collaboré étroitement aux questions liées au projet. Elles ont partagé les enseignements tirés et se sont entraïdées pour la mise en œuvre. Le tableau 21 présente un résumé du projet et de ses retombées pour la communauté.

Principaux résultats

Le travail des leaders locaux et une coordination communautaire efficace ont propulsé le projet d'énergie solaire à Magdalena Aguilar. Les représentant·es de l'ejido et un ancien délégué ont lancé la pétition pour des panneaux photovoltaïques et des SSEB et ont négocié les processus administratifs. Le tableau 22 résume les principaux résultats des entrevues menées avec les membres de la communauté de Magdalena Aguilar.

Ce projet a montré que des interventions ciblées en matière d'énergie peuvent considérablement améliorer la qualité de vie en régions éloignées. Elles établissent un équilibre entre l'aspect pratique et l'effet transformateur. Les enseignements suivants, tirés du processus de consultation, sont essentiels :

- Les hésitations initiales des habitants ont mis en évidence l'importance d'une mobilisation initiale efficace pour expliquer les avantages du projet et inspirer confiance. Les expériences positives de voisins ont certainement motivé la participation de plusieurs.
- L'accès à Magdalena Aguilar étant difficile en raison du relief accidenté et d'infrastructures limitées, une planification minutieuse s'impose, de même qu'une attribution judicieuse des ressources en vue du transport et de la livraison du matériel.



- Les panneaux photovoltaïques et les SSEB standardisés ont garanti un processus de mise en œuvre cohérent et gérable. Or, leur capacité limitée rappelle le besoin de concevoir des systèmes mieux adaptés aux besoins de la communauté.
- La fréquence des pannes de courant nocturnes souligne l'importance de mieux comprendre les habitudes locales de consommation d'énergie, et ce, dès la phase de planification. C'est particulièrement le cas dans les communautés aux capacités de stockage et de production limitées.
- La communauté dépend de ressources externes pour assurer l'entretien des panneaux PV et des SSEB et manque d'expertise locale pour les réparer. Il est donc essentiel de mettre en place des mécanismes de soutien à long terme, par exemple des programmes de formation, afin de renforcer les capacités techniques à l'échelle locale. Parallèlement, les habitants ont exprimé de la méfiance à l'égard de la CFE et de la frustration face aux longs temps d'attente pour obtenir de l'aide. Il serait très avantageux pour la communauté d'avoir les outils et les connaissances nécessaires pour procéder par elle-même au dépannage de ses systèmes.



Voici les prochaines étapes que pourrait prendre la communauté de Magdalena Aguilar pour poursuivre sa transition énergétique :

- Étendre les programmes de formation afin de renforcer les compétences techniques locales pour l'entretien des panneaux PV et des SSEB, et fournir à la communauté des outils de dépannage afin qu'elle dépende moins de l'aide externe.
- Procéder à des études détaillées sur la consommation d'énergie de la communauté, afin d'éclairer la conception des futurs systèmes énergétiques, notamment en optimisant les capacités de stockage et de production.
- Explorer les possibilités de mise à niveau progressive des systèmes pour répondre à une demande accrue d'énergie au fil du temps.

Tableau 21. Résumé du projet mis en œuvre à Magdalena Aguilar

Détails du projet	Description
Capacité installée	5,7 kW (voir les détails dans le tableau 15)
Échéancier	Juillet à novembre 2021
Coût total	847 671 pesos (42 383 \$ US)
Sources de financement	Gouvernement fédéral mexicain
Responsable du projet et partenaires clés	SENER, CFE
Propriété	Propriété individuelle
Retombées du projet	<ul style="list-style-type: none">• Même si aucun revenu direct n'a été généré, les ménages ont bénéficié d'une plus grande stabilité financière en dépensant moins pour l'éclairage traditionnel et en perdant moins de nourriture par manque de réfrigération. Des déplacements moins fréquents au marché ont entraîné une réduction des coûts, libérant ainsi des ressources pour répondre à d'autres besoins. Ces économies soulignent le rôle qu'a joué le projet en renforçant indirectement la résilience économique.• Le passage à des systèmes photovoltaïques solaires pour l'éclairage à l'électricité au lieu du kérosène permet d'éviter l'émission de 6,21 t d'éq. CO2 par an (communication personnelle avec José Vicente Hernández, de la CFE, 2 avril 2024). Ce projet va dans le sens des objectifs environnementaux du Mexique et offre un modèle d'adoption d'énergies propres dans les communautés éloignées.• L'arrivée des systèmes photovoltaïques a transformé la vie quotidienne. On peut désormais conserver les aliments (produits laitiers, viande et légumes) et réfrigérer l'insuline (indispensable à la gestion du diabète), de quoi réduire le stress et améliorer l'état de santé des résident·es. Ces derniers ont surmonté leur scepticisme initial à mesure qu'ils constataient les avantages tangibles, ce qui les a incités à participer en plus grand nombre au projet. Une réfrigération et un éclairage meilleurs ainsi qu'une hausse de productivité ont renforcé les sentiments de sécurité, de confort et de fierté au sein de la communauté.



Tableau 22. Résultats des entrevues menées à Magdaleno Aguilar, par phase de développement du projet

Phase de développement du projet	Principaux résultats
Planification	<ul style="list-style-type: none"> • Selon un membre de la communauté, l'ancien délégué municipal a joué un rôle pivot dans l'organisation de la pétition pour les panneaux PV et SSEB en assurant une excellente coordination à l'interne. Comme pour d'autres projets que soutient le FSUE, les leaders locaux ont facilité la présentation des documents nécessaires. • Les membres de la communauté ont mentionné qu'il a fallu attendre un an entre la présentation de la demande et l'approbation du projet; cela témoigne des problèmes logistiques propres à la planification de projets dans des secteurs éloignés, comme Magdaleno Aguilar. • Pour se rendre à Magdaleno Aguilar, il a fallu rouler sur des routes accidentées à bord de véhicules à quatre roues motrices, de quoi compliquer les phases de planification et de mise en œuvre. La coordination et la planification des étapes liminaires étaient vraiment essentielles, étant donné ces contraintes d'accès particulières.
Sélection et approvisionnement de la technologie	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune observation propre au projet, la sélection et l'approvisionnement de la technologie étant identiques pour tous les projets au Mexique (voir la section 4.2).
Financement et permis	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune observation propre au projet, les phases de financement et de délivrance des permis étant identiques pour tous les projets au Mexique (voir la section 4.2).
Installation et mise en service	<ul style="list-style-type: none"> • Les membres de la communauté ont indiqué que l'installation des systèmes s'était faite sans problème, malgré les défis logistiques liés au terrain. Elle s'est étalée sur deux mois. • Les habitants ont participé à la phase d'installation; ils ont observé le processus de mise en place et posé des questions sur le fonctionnement du système. Cela leur a inspiré davantage confiance dans l'utilisation de la technologie.
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Les membres de la communauté n'ont signalé aucun problème majeur pendant la période initiale d'exploitation. • Les membres de la communauté ont exprimé leur profonde reconnaissance pour les panneaux PV et les SSEB. Ils ont mentionné à quel point ce matériel a transformé leur vie quotidienne, puisqu'il alimente des fonctions essentielles, comme la réfrigération et l'éclairage. Toutefois, on a aussi signalé de fréquentes pannes de courant pendant la nuit liées à des limites de capacité. Malgré une consommation d'électricité minimale, les systèmes parviennent rarement à répondre aux besoins de base. • Les habitants ont fait part de leurs inquiétudes concernant la durée de vie des batteries; ils estiment que si les batteries actuelles fonctionnent bien, on pourrait attendre quelques années avant de les remplacer. La communauté compte sur la garantie et les contrats de service de la CFE pour répondre aux futurs besoins d'entretien. • À Magdaleno Aguilar, on n'a pas encore formé de main-d'œuvre locale pour assurer l'entretien des panneaux PV et des SSEB. Dans d'autres communautés que soutient le FSUE, on a donné de la formation technique. La communauté continue donc de faire appel à des techniciens externes pour l'entretien lorsque c'est nécessaire.

5. Thèmes communs de la transition des collectivités éloignées et autochtones d'Amérique du Nord vers l'énergie renouvelable

Les communautés éloignées et autochtones sélectionnées pour ces études de cas sont engagées dans une transition vers l'énergie renouvelable. Leur contexte culturel, géographique et socioéconomique unique influence cette démarche. Malgré les différences dans l'expérience vécue par chaque communauté, des tendances claires et des enseignements communs se dégagent de l'analyse de leur parcours collectif. En cartographiant ces expériences sur un graphique de progression – de l'électrification de base aux miniréseaux entièrement intégrés (comme le montre la figure 3) –, nous comprenons mieux les différentes phases et les enseignements thématiques qui se dégagent à différents niveaux de transition. Il est toutefois important de noter que les communautés ne franchissent pas nécessairement toutes les étapes de manière séquentielle; certaines peuvent lancer leur transition directement à des niveaux plus avancés, selon leur contexte et leurs ressources particulières. Le tableau 23 complète cette progression visuelle en résumant les exemples de collectivité et de communautés, les caractéristiques essentielles et les possibilités propres à chaque étape. Dans l'ensemble, ces ressources mettent en évidence des thèmes communs et permettent de bien comprendre le contexte, élément essentiel pour soutenir des transitions énergétiques équitables et durables.

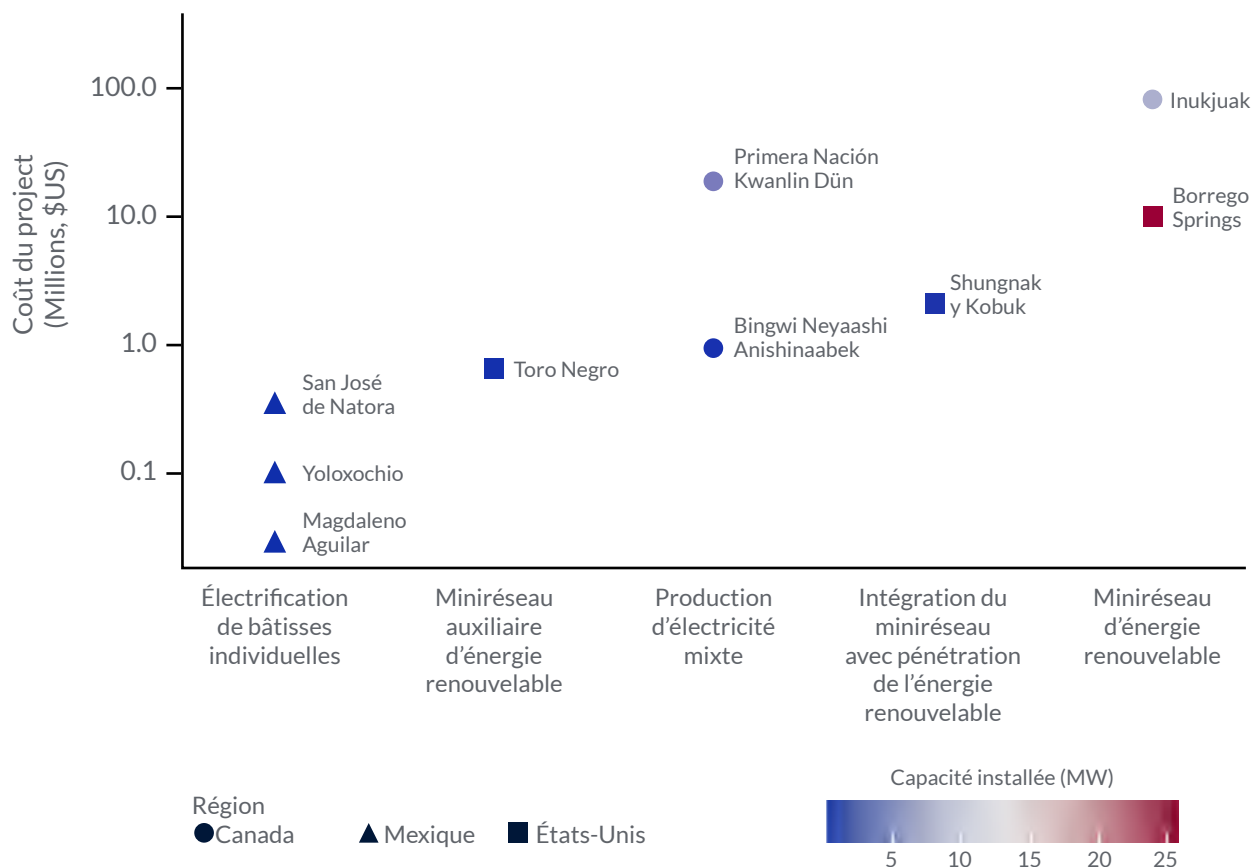
Maturité de la technologie : l'équilibre entre innovation et fiabilité

Les collectivités priorisent la sélection de technologies d'énergie renouvelable qui correspondent à leur capacité opérationnelle et à leurs besoins d'entretien à long terme. Les cas précoces d'intégration d'énergies renouvelables, comme à Shungnak et à Kobuk, ont favorisé des systèmes fiables et éprouvés qui étaient un complément aux infrastructures diesel existantes. Des projets plus complexes, comme les systèmes éoliens de la Première Nation des Kwanlin Dün et hydroélectriques d'Inukjuak, exigeaient plus de compétences techniques et de planification des ressources. Comme le montre l'exemple de Borrego Springs, des problèmes opérationnels peuvent frapper les systèmes évolués lorsque les capacités de soutien locales sont limitées. Pour garantir des résultats durables, les choix technologiques doivent équilibrer maturité, adéquation des ressources, besoins en maintenance et expertise disponible.

Tableau 23. Types de systèmes d'énergie renouvelable dans les neuf communautés objet d'une étude de cas

Ampleur	Communautés	Principales caractéristiques	Principaux défis	Retombées
Électrification de base	San José de Natora, Yoloxochio, Magdalena Aguilar (PV et SSEB)	Systèmes d'énergie renouvelable individuels, petits budgets, avantages directs	Logistique de base, capacité technique limitée à l'échelle locale	Amélioration immédiate au chapitre de la santé, de l'éducation et des communications
Unités individuelles connectées (miniréseau auxiliaire d'énergie renouvelable)	Toro Negro (PV et SSEB)	Actifs répartis de production et de stockage d'énergie renouvelable, possibilité de connexion au réseau	Intégration des systèmes, gestion efficace du stockage, de l'exploitation et de l'entretien	Plus grande fiabilité, résilience énergétique de l'ensemble de la communauté
Production d'électricité mixte	Bingwi Neyaashi Anishinaabek (biomasse), Première Nation des Kwanlin Dün (éolien)	Actifs centralisés de production d'énergie renouvelable, sources d'énergie diverses	Complexité technique, expertise spécialisée requise	Avantages économiques à plus grande échelle, génération initiale de recettes
Intégration du miniréseau avec pénétration de l'énergie renouvelable	Shungnak et Kobuk (miniréseau)	Miniréseau d'énergie renouvelable qui intègre plusieurs sources d'énergie	Complexité de la réglementation, gestion évoluée des systèmes	Collaboration régionale pour la production d'énergie, répartition des risques
Miniréseau d'énergie renouvelable	Borrego Springs (miniréseau), Inukjuak (hydroélectrique)	Miniréseau d'énergie renouvelable très résilient, redondance et diversification	Capital initial élevé, gestion technique à long terme	Souveraineté énergétique durable, rendement économique, plus grande résilience régionale

Figure 3. Types de projets d'énergie renouvelable, par coût et capacité installée, dans les neuf communautés objet d'une étude de cas



Planification communautaire et autodétermination

Le degré d'engagement communautaire actif et d'autodétermination évolue considérablement tout au long des étapes de la transition énergétique (illustrées à la figure 3). Au départ, il se peut que l'engagement vise principalement à déterminer et à satisfaire les besoins essentiels d'accès à l'énergie. Toutefois, les communautés qui choisissent des systèmes d'énergie renouvelable de plus en plus intégrés ou centralisés, comme celles de Toro Negro et de Bingwi Neyaashi Anishinaabek, constatent une participation accrue de leurs membres dans les processus de consultation continue, de prise de décision, d'alignement culturel et de gouvernance locale. Un profond engagement communautaire, dès les phases initiales d'évaluation et durant chacune des étapes de développement du projet, favorise l'appropriation locale et un soutien généralisé. Cette méthode d'engagement et de leadership inclusifs est essentielle pour les communautés qui veulent atteindre une durabilité, une résilience et une souveraineté énergétique à long terme.

Efficacité budgétaire et retombées communautaires

Les retombées de projets d'énergie renouvelable n'ont pas nécessairement de corrélation directe avec la taille du budget. Dès leur tout début et malgré leur budget relativement modeste, les projets d'électrification génèrent souvent des avantages immédiats et transformateurs. Ils rehaussent considérablement la qualité de vie en améliorant la santé, l'éducation et les communications de base (les exemples du tableau 23 incluent San José de Natora, Yoloxochio et Magdalena Aguilar). En revanche, les systèmes de miniréseaux évolués, comme ceux de Borrego Springs et d'Inukjuak, quoique nettement plus coûteux, procurent des avantages socioéconomiques plus vastes, notamment la résilience, une activité économique durable, la fiabilité énergétique à long terme et des possibilités de générer des recettes. Chaque étape a donc des retombées distinctes et complémentaires qui soulignent le besoin d'aligner les investissements stratégiques sur les objectifs de transition propres à chaque communauté.



Partenariats et établissement de consensus

Le succès de la transition à l'énergie renouvelable dépend essentiellement de partenariats efficaces entre les communautés, les fournisseurs techniques, les services publics et les entités gouvernementales. Comme le montre le tableau 23, les communautés qui passent à des stades plus avancés, comme la production mixte et les miniréseaux renouvelables, se butent à des partenariats de plus en plus complexes. Par exemple, les cadres réglementaires et de gouvernance sont particulièrement importants dans le cas de miniréseaux interconnectés, comme ceux de Shungnak et Kobuk, où le partage coordonné des ressources exige de solides partenariats. Des partenariats efficaces renforcent à la fois la confiance de la communauté et la viabilité du projet et assurent l'harmonisation des priorités des parties prenantes.

Expertise technique et renforcement des capacités communautaires

L'expertise technique à elle seule ne suffit pas. Les projets fructueux combinent capacités techniques et renforcement délibéré des capacités, en fonction des besoins et priorités de la communauté. Comme le montre le tableau 23, les avantages de projets à plus petite échelle incluent des programmes de formation simples et axés sur la communauté qui visent des compétences essentielles en matière d'entretien. En revanche, les projets à plus grande échelle, comme ceux de la Première Nation

des Kwanlin Dün et à Borrego Springs, exigent des connaissances techniques poussées combinées à des stratégies délibérées pour stimuler l'emploi local, le transfert de compétences et la gestion communautaire. Un renforcement des capacités réussi commence dès les premières étapes de la planification, par la mobilisation active de divers membres de la communauté – les jeunes, les femmes et les personnes marginalisées. Il s'agit alors de développer des compétences durables à l'échelle locale, d'autonomiser les communautés et de favoriser une viabilité opérationnelle à long terme. À mesure que les communautés adoptent des systèmes énergétiques de plus en plus évolués, une telle approche inclusive assure l'alignement entre les progrès techniques et les objectifs d'équité sociale et d'autodétermination.

Le stockage de l'énergie : l'élément fondamental

Le stockage d'énergie constitue l'élément fondamental de toute transition réussie vers l'énergie renouvelable. Malgré leurs modestes capacités de stockage, les projets d'électrification précoces (San José de Natora et Yolochochio) procurent des avantages significatifs, comme une amélioration immédiate de la fiabilité et une dépendance réduite au diesel. Cependant, à mesure que les communautés optent pour des projets de moyenne et grande envergure (Toro Negro, Shungnak et Kobuk), une plus grande capacité de stockage devient essentielle pour améliorer la résilience, gérer la nature intermittente de l'énergie renouvelable et garantir la stabilité et la constance de l'approvisionnement énergétique. Des solutions de stockage bien intégrées sont donc la clé du succès à long terme à tous les échelons.

Exploitation et entretien à long terme

Pour qu'elle soit durable, toute transition à l'énergie renouvelable doit s'appuyer sur un cadre d'exploitation et d'entretien (EE) cohérent, bien financé et à long terme. La complexité et l'importance du volet EE augmentent progressivement (de gauche à droite sur l'axe des x, figure 3) d'un palier à l'autre dans la transition énergétique, soit de projets de base à ceux à plus grande échelle. L'électrification de base pose souvent des problèmes logistiques et techniques en matière d'EE, surtout en régions éloignées. À l'heure actuelle, dans les communautés au Mexique, l'entretien est assuré principalement par des contrats à moyen terme. Or, le gouvernement fédéral favorise activement des modèles d'EE communautaires en vue de renforcer les capacités locales et la durabilité. Les communautés dont la transition énergétique est plus avancée, comme Borrego Springs et Inukjuak, sont dotées de cadres EE bien établis, de structures de soutien institutionnel et d'une expertise technique locale. Ce sont là des facteurs essentiels qui assurent le succès opérationnel et la durabilité de leurs miniréseaux d'énergie renouvelable.

Investissements publics et structuration financière

Les investissements publics demeurent un moteur essentiel à la réussite des transitions énergétiques, peu importe leur ampleur. En effet, ils réduisent les risques financiers que devraient sinon assumer les communautés et qui freineraient l'engagement du secteur privé, et permettent le développement d'infrastructures. L'électrification à petite échelle bénéficie principalement d'investissements publics initiaux pour établir un accès fondateur à l'énergie. Pour leur part, les projets à grande échelle, comme les miniréseaux d'énergies renouvelables et mixtes, utilisent les fonds publics de manière stratégique pour attirer les investissements privés, développer des infrastructures essentielles et appuyer des solutions plus complexes. Les communautés qui traversent les différents paliers présentés dans le tableau 23 bénéficient ainsi d'une structuration financière adaptée à leurs besoins en constante évolution.



Production de recettes et viabilité financière

À mesure que progresse le degré de pénétration de l'énergie renouvelable des communautés, la capacité à générer des recettes devient de plus en plus un élément central de la durabilité. Les miniréseaux évolués, comme ceux d'Inukjuak et de Borrego Springs, illustrent la possibilité de devenir producteur d'électricité indépendant (PEI) en réinvestissant les recettes dans les infrastructures locales, le perfectionnement de la main-d'œuvre et le financement à long terme de l'EE. La création de flux de rentrées renforce les économies locales ainsi que la résilience et l'autonomie à long terme des communautés, au-delà du financement initial du projet.

Les diverses transitions à l'énergie renouvelable de communautés éloignées et autochtones à l'échelle de l'Amérique du Nord révèlent des priorités thématiques et des perspectives stratégiques constantes, essentielles au succès à long terme. Ces expériences communes procurent un cadre pour guider les futures transitions énergétiques, mais des analyses quantitatives supplémentaires et la collecte continue de données demeurent indispensables. De plus amples recherches fondées sur les résultats et la structure présentés ici permettront une analyse comparative plus précise, des interventions ciblées et la formulation de politiques éclairées. En fin de compte, quand on comprend l'ampleur du projet de transition de chaque communauté, on perçoit clairement les défis qu'il lui reste à relever et les domaines où investir stratégiquement. On peut ainsi envisager des progrès équitables vers la résilience durable, la viabilité économique et la souveraineté énergétique.

Bibliographie

Alaska Energy Authority (2014). *Alaska Renewable Energy Fund: Round 7*. (Project ID : 1001). <https://www.akenergyauthority.org/What-We-Do/Grants-Loans/Renewable-Energy-Fund>.

Alaska Energy Authority (2019). *Power cost equalization program guide*, Anchorage, Alaska Energy Authority. <https://www.akenergyauthority.org/PCE>.

Anderson, B., R. Jordan et I. Baring-Gould (2023). *Distributed renewables for Arctic energy: A case study*, Golden : National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-5000-84391. <https://doi.org/10.2172/1922401>.

Anselmi, E. (2019). « Some Inukjuak residents remain concerned about hydro project », *Nunatsiaq News*. <https://nunatsiaq.com/stories/article/some-inukjuak-residents-remain-concerned-about-hydro-project/>.

Barabino, E., D. Fioriti, E. Guerrazzi, I. Mariuzzo, D. Poli, M. Raugi, E. Razaeei, E. Schito et D. Thomopoulos (2023). Energy communities: A review on trends, energy system modelling, business models, and optimisation objectives, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 36, 101187. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101187>.

Census Reporter (2022). « Borrego Springs, CA. » U.S. Census Bureau, American Community Survey 5-year estimates. <https://censusreporter.org/profiles/16000US0607596-borrego-springs-ca/>.

CFE (s. d.) *Proyecto social Zongolica: Electrificación indígena por medio de módulos solares individuales EPS Gen VI*, Comisión Federal de Electricidad. https://www.cfe.mx/desarrollo_social/desarrollo_humano/Generales/PROYECTO_ZONGOLICA-2021.pdf.

CIMA+ (s. d.) « Innavig Hydro », Chartered Institute of Management Accountants. <https://www.cima.ca/projet/innavig-hydro/>. Consulté le 12 avril 2025.

CNLP (2024). « Eagle Hill Energy Limited Partnership », Chu Niikwän Limited Partnership. <https://www.chuniikwan.ca/eagle-hill-energy>.

Comunidad Toro Negro (s. d.) « Agua y energía ». <https://www.comunidadtoronegro.org/agua-y-energia>.

Connors, S. (2023). « Haeckel Hill is the North's first entirely Indigenous-owned clean energy project », APTN News. <https://www.aptnnews.ca/national-news/haeckel-hill-is-the-norths-first-entirely-indigenous-owned-clean-energy-project/>.

County of San Diego (2011). *Borrego Springs community plan*. https://www.sandiegocounty.gov/content/dam/sdc/pds/docs/CP/Borrego_Springs_CP.pdf.

Deng, S., A. Hansen, G. Hiltbrand, S. Maddex et S.S. Lecaros (2019). « Evaluating viability of community solar miniréseaus for resilience in Puerto Rico », thèse de maîtrise, Duke University, Dukespace. <https://hdl.handle.net/10161/18460>.

East Penn Manufacturing (2020). *Solar product highlight: Toro Negro community project – Puerto Rico*. En ligne : <https://www.eastpennmanufacturing.com/wp-content/uploads/8L16-Solar-Product-Highlight-Maximo-2554-1.pdf>.

Eagle Hill Energy LP (2023). « Haeckel Hill–Thay T’aw wind energy project celebrates construction milestone », 5 octobre. <https://www.northernenergycapital.com/post/haeckel-hill-thay-t-%C3%A4w-wind-energy-project-celebrates-construction-milestone>.

Énergie Yukon (2014). « Yukon Energy’s 2015 wind program », <https://yukonenergy.ca/about-us/news-events/yukon-energys-2015-wind-program>.

Environnement et Changement climatique Canada (2016). *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatique*, Gatineau, Environnement et Changement climatique Canada. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/cadre-pancanadien/plan-changement-climatique.html>.

Environment Journal (2023). « Haeckel Hill wind turbine project reaches milestone towards a sustainable Yukon », 10 octobre. <https://environmentjournal.ca/haeckel-hill-wind-turbine-project-reaches-milestone-towards-a-sustainable-yukon/>.

EWT (2023). « EWT’s DW61 featured in The Haeckel Hill–Thay T’aw project », 7 avril. <https://ewtdirectwind.com/news/ewts-dw61-featured-in-the-haeckel-hill-thay-taw-project/>.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture) (2018). *México rural del Siglo XXI*, Ciudad de México, FAO. <http://www.economia.unam.mx/academia/inae/images/ProgramasyLecturas/>

[lecturas/inae_ii/agriculturasxxi.pdf](#)

FCPR (2018). « Fundación Comunitaria y SOMOS Solar se unen para establecer la primera comunidad solar administrada por una comunidad en la Isla », Fundación Comunitaria de Puerto Rico, 8 juin. <https://www.fcpr.org/4140/>.

FCPR (2019). « Comunidad Solar Toro Negro recibe visita del congresista Grijalva », Fundación Comunitaria de Puerto Rico, 8 avril. <https://www.fcpr.org/comunidad-solar-toro-negro-recibe-visita-del-congresista-grijalva/>.

FERC (2020a). « Order No. 841 », Federal Energy Regulatory Commission, 16 décembre. <https://www.ferc.gov/media/order-no-841>.

FERC (2020b). *Docket No. RM18-9-000; Order No. 2222*, Federal Energy Regulatory Commission. https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-09/E-1_0.pdf.

Flores-Espino, F., R. Castillo, R.U. Ruiz Saucedo et E. Rosas López (2021). *Electrificación rural para comunidades fuera de la red utilizando generación de energía renovable con sistemas híbridos*, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/690391/INFORME_Electrificacion_integrado18112021.pdf.

Gouvernement du Canada (2023). « Initiative autochtone pour réduire la dépendance au diesel », 30 octobre. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/plan-climatique/reduire-emissions/reduire-dependance-diesel/initiative-autochtone-pour-reduire-la-dependance-au-diesel.html>.

Gouvernement du Yukon (2023). « Le projet éolien de la colline Haeckel franchit une étape cruciale vers un

Yukon fort et durable », 10 mars. <https://yukon.ca/fr/news/le-projet-eolien-de-la-colline-haeckel-franchit-une-etape-cruciale-vers-un-yukon-fort-et>.

ICE Network (2020). « Bioenergy action monitor 2020 », Indigenous Clean Energy Network. <https://www.icenet.work/c/bioenergy/bioenergy-action-monitor-2020-4744>.

Innavik Hydro (2020). « Community sessions highlights », Innavik Hydro Project Updates, 12 février. <https://www.innavikhydro.com/post/2020/02/12/community-sessions-highlights>.

Innavik Hydro (2021). « Innavik hydroelectric project environmental and social impact assessment ». <https://www.ree.environnement.gouv.qc.ca/dossiers/3215-10-005/3215-10-005-5.pdf>.

Innavik Hydro (s. d.) « Projet hydroélectrique Innavik ». <https://fr.innavikhydro.com/>.

Innavik Hydro et Hydro-Québec Distribution (2019). *Contrat d'approvisionnement en électricité : Centrale Innavik, rivière Inukjuak* [Electricity Supply Contract], 27 mai. En ligne : <https://www.hydroquebec.com/data/achats-electricite-quebec/pdf/contrats/innavik-contrat.pdf>.

Innergex Renewable Energy Inc. (2020). « Financial closing of the Innavik hydro project in Inukjuak, Quebec », 4 novembre. <https://www.innergex.com/en/media/financial-closing-of-innavik-hydro>.

Innergex Renewable Energy Inc. (s. d.) « Site Innavik ». <https://www.innergex.com/fr/installations/innavik>.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2021). Electrificación rural para comunidades fuera de la red utilizando generación de energía renovable con

sistemas híbridos. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/690391/INFORME_Electrificacion_integrado18112021.pdf.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010a). *Compendio de información geográfica municipal Llera, Tamaulipas*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/28/28019.pdf.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010b). *Compendio de información geográfica municipal Sahuaripa, Sonora*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/26/26052.pdf.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010c). *Compendio de información geográfica municipal Zongolica, Veracruz de Ignacio de la Llave*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30201.pdf.

Kabir, E., K.-H. Kim et J. Szulejko (2017). Social impacts of solar home systems in rural areas: A case study in Bangladesh, *Energies*, 10, 1615. <https://doi.org/10.3390/en10101615>.

Katmale, H., S. Clark, T. Bialek et L. Abcede (2019). *Borrego Springs: California's first renewable energy-based community miniréseau*, California Energy Commission, CEC-500-2019-013. <https://www.energy.ca.gov/publications/2019/borrego-springs-californias-first-renewable-energy-based-community-miniréseau>.

Meadows, R., E. Edgerly, R. Jordan et L. Beshilas (2025). *Renewable energy integration in remote Alaska communities*, US Department of Energy Office of Scientific and Technical Information. En ligne : <https://doi.org/10.2172/2522802>.

NAB (s. d.) « Community profile : Shungnak », Northwest Arctic Borough. <https://www.nwabor.org/wp-content/uploads/L.-Community-Profile-Shungnak.pdf>.

Opiyo, N.N. (2020). How solar home systems temporally stimulate increasing power demands in rural households of Sub-Saharan Africa, *Energy Transitions*, 4, p. 141 à 153. <https://doi.org/10.1007/s41825-020-00028-9>.

Perron-Piché, G. (2023). « Innalik livre de l'électricité à Inukjuak! », Innalik Hydro, 30 octobre. <https://fr.innalikhhydro.com/post/innalik-livre-de-l-%C3%A9lectricit%C3%A9-%C3%A0-inukjuak>.

Pituvik Landholding Corporation (2024). *Innalik hydroelectric project, summary of the environmental and social impact assessment*, Montréal, RSW Inc. En ligne : https://www.keqc-cqek.ca/wp-content/uploads/20100200_3215-10-005_EX-0318RP_Summary-of-the-Environental.pdf.

Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada (2005). « Entente définitive de la Première Nation des Kwanlin Dün ». <https://www.rcaanc-cirnac.gc.ca/fra/1294416351481/1542815981425>.

Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada (2023). « Programme ARDEC Nord », 6 décembre. <https://www.rcaanc-cirnac.gc.ca/fra/1481305379258/1594737453888>.

Ressources naturelles Canada (2025). « Projets financés par le programme Énergie propre pour les collectivités rurales et isolées », 13 janvier. <https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/projets-finances-programme-energie-propre-collectivites-rurales-eloignees-epcre>.

Rogers, S. (2020). « Construction starts on Nunavik hydro project », *Nunatsiaq News*, 31 juillet. <https://nunatsiaq.com/stories/article/construction-starts-on-nunavik-hydro-project/>.

SDG&E (2024). *Borrego Springs miniréseau fact sheet*, San Diego Gas & Electric. <https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2021-05/CEC-500-2019-013.pdf>

Secretaría de Economía (2020). « Sahuaripa, municipio de Sonora ». <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/sahuaripa>.

Secretaría de Gobernación (2014). « Ley de La Industria Enegetica », *Diario Oficial de la Federación*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec.pdf>.

Secretaría de Gobernación (2025). « Ley de la Empresa Pública del Estado, Comisión Federal de Electricidad », *Diario Oficial de la Federación*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LEPECFE.pdf>.

SENER (2017). « El Fondo de Servicio Universal Eléctrico permitirá ampliar la electrificación de comunidades rurales y zonas urbanas marginadas », Secretaría de Energía, 22 mai. <https://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-de-servicio-universal-electrico-permitira-ampliar-la-electrificacion-de-comunidades-rurales-y-zonas-urbanas-marginadas?idiom=es>.

SENER (2018a). *Catálogo de Soluciones Tecnológicas de Electrificación en Comunidades Rurales y Zonas Urbanas Marginadas*, Secretaría de Energía. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314249/20180309_Catalogo_de_Soluciones_Tecnologicas_2018_FINAL.pdf.

SENER (2018b). *Libro blanco fondo de servicio universal eléctrico*, Secretaría de Energía. https://base.energia.gob.mx/ER1218/LB_FSUE.PDF.

SENER (s. d.) *Reglas de operación del fondo de servicio universal eléctrico*, Secretaría de Energía. https://base.energia.gob.mx/dgaic/DA/P/SubsecretariaElectricidad/FondoServicioUniversalElectrico/SENER_07_ReglasOperacionFSUE.pdf.

YESAB (s. d.) « YESAB online registry », Yukon Environmental and Socio-economic Assessment Board. <https://yesab.ca>.

Uddin, M., H. Mo, D. Dong, S. Elsayah, J. Zhu et J.M. Guerrero (2023). Microgrids: A review, outstanding issues and future trends, *Energy Strategy Reviews*, 49, 101127. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101127>.

US Census Bureau (2020). « 2020 decennial census of population and housing ». <https://www.census.gov/programs-surveys/decennial-census.html>.

USDA Rural Development (s. d.) « Electric programs », US Department of Agriculture. <https://www.rd.usda.gov/programs-services/all-programs/electric-programs>.

Vera, E.G., C.A. Canizares et M. Pirnia (2020). Renewable energy integration in Canadian remote community microgrids: The feasibility of hydrogen and gas generation, *IEEE Electrification Magazine*, 8(4), p. 36 à 45. <https://doi.org/10.1109/mele.2020.3026438>.

WHPacific, Inc. (2010). *NANA wind resource assessment project: Final report (2008-2010)*, NANA Regional Corporation et US Department of Energy Tribal Energy Program. <https://www.nwabor.org/wp-content/uploads/NANAFinalreport23Sept2010.pdf>.

WindpowerNL (2023). « EWT commenced turbine installation at Haeckel Hill onshore wind project in Canada », 4 juillet. <https://windpowernl.com/2023/07/04/ewt-commenced-turbine-installation-at-haeckel-hill-onshore-wind-project-in-canada/>.

Annexe : Politiques facilitant la mise en œuvre de projets d'électrification rurale



La présente annexe donne des exemples de politiques nationales et fédérales qui influent directement sur l'élaboration et la mise en œuvre de projets d'électrification de collectivités rurales et éloignées au Canada, au Mexique et aux États-Unis. Ces politiques établissent les cadres juridiques, financiers et programmatiques qui facilitent ou appuient la mise en œuvre des projets décrits dans les études de cas présentées dans le présent rapport.

Canada

Énergie propre pour les collectivités rurales et éloignées

Le programme Énergie propre pour les collectivités rurales et éloignées (EPCRE) est un moteur central de la transition à l'énergie renouvelable dans les régions éloignées au Canada qui ne sont pas raccordées au réseau électrique. Administré par Ressources naturelles Canada, l'EPCRE finance des projets qui réduisent la dépendance au diesel dans les communautés autochtones, rurales et éloignées en soutenant le déploiement des énergies renouvelables, le renforcement des capacités et la planification énergétique communautaire (Ressources naturelles Canada, 2025). Ce programme était directement pertinent pour les projets décrits dans le présent rapport, notamment ceux d'Inukjuak et de la Première Nation des Kwanlin Dün, puisqu'il a fourni des mécanismes de financement et une assistance technique adaptés aux projets menés par les Autochtones. Il s'inscrit dans le cadre des engagements du Canada en matière de réconciliation et de croissance propre.

Initiative autochtone pour réduire la dépendance au diesel

L'Initiative autochtone pour réduire la dépendance au diesel (IARDD), également gérée par Ressources naturelles Canada en partenariat avec *l'Indigenous Clean Energy Social Enterprise* (Entreprise sociale autochtone pour l'énergie propre), aide les « champions de l'énergie » des collectivités à mener des projets visant à réduire l'utilisation du diesel grâce à l'énergie renouvelable (Gouvernement du Canada, 2023). L'IARDD a contribué au développement des capacités et à la formation au leadership dans des communautés, comme celles que décrit le rapport. Elle vient compléter les mesures politiques à plus grande échelle en finançant des plans énergétiques et les premières étapes de projets menés dans les communautés autochtones.

Programme ARDEC

Le programme Approche responsable pour le développement énergétique des collectivités du Nord (ARDEC) soutient les projets liés à l'énergie renouvelable et à l'efficacité énergétique dans les territoires (Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, 2023). Élaboré et dirigé par Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, ce programme relève les défis que posent les infrastructures éloignées dans le Nord. Il soutient la planification et le déploiement de systèmes d'énergie et de chauffage adaptés au Yukon et aux Territoires du Nord-Ouest, et a permis la réalisation de travaux préliminaires de planification et d'études de faisabilité pour les projets examinés, en particulier dans la Première Nation des Kwanlin Dün.

Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques

Le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques établit le contexte politique national qui englobe tous les programmes susmentionnés (Environnement et Changement climatique Canada, 2016). Adopté en 2016, il jette les bases des objectifs de zéro émission nette du Canada et oriente les investissements fédéraux vers la réduction des émissions et le soutien aux technologies propres. Il préconise explicitement le développement des énergies propres dans les collectivités et communautés autochtones et éloignées et établit un mandat politique et financier pour des programmes comme l'EPCRE et l'ARDEC.

États-Unis

Rural Electrification Act of 1936

La *Rural Electrification Act of 1936* (REA, Loi de 1935 sur l'électrification rurale) demeure la pierre angulaire du développement énergétique en région rurale aux États-Unis. Initialement promulguée pour alimenter les régions rurales en électricité grâce à des prêts à faible taux d'intérêt, la REA autorisait l'aide fédérale aux coopératives et aux services publics. Aujourd'hui, le *Rural Utilities Service* (division des services publics en milieu rural) de l'USDA (département de l'Agriculture) gère le programme et offre des prêts et garanties de prêt pour les infrastructures énergétiques dans les collectivités mal desservies. Ce cadre juridique et institutionnel continue d'apporter un soutien fondamental aux projets menés dans des régions comme le *Northwest Arctic Borough*.



Programmes énergétiques en région rurale de l'USDA

Les *Rural Development Electric Programs* (programmes d'électrification des régions rurales) de l'USDA financent la construction, la modernisation et l'amélioration des infrastructures de distribution électrique dans les régions rurales (USDA Rural Development, s. d.). Grâce notamment à la *High Energy Cost Grant* (subvention pour coûts énergétiques élevés) et à l'*Electric Infrastructure Loan Program* (programme de prêts pour infrastructures électriques), on réduit le fardeau financier des collectivités rurales qui cherchent à diversifier ou à stabiliser leur approvisionnement énergétique. La création du miniréseau du Northwest Arctic Borough a bénéficié de cette structure.

Ordonnance n° 841 de la Federal Energy Regulatory Commission

Publiée en 2018, l'ordonnance no 841 de la *Federal Energy Regulatory Commission* (FERC, commission fédérale de réglementation de l'énergie) indique aux organisations régionales de transport d'électricité et aux exploitants de réseaux indépendants de s'assurer que les ressources de stockage de l'énergie peuvent être négociées sur les marchés de l'énergie de gros (FERC, 2020a). Bien qu'elle vise principalement les régions raccordées au réseau, cette ordonnance a établi un précédent réglementaire pour l'évaluation de l'équipement de stockage dans le cadre de la planification énergétique. Cela a permis de valider l'utilisation du stockage par batterie dans les miniréseaux axés sur la résilience, comme ceux à Borrego Springs et en Alaska.

Ordonnance n° 2222 de la FERC

Publiée en 2020, l'ordonnance no 2222 de la FERC facilite le regroupement des ressources énergétiques distribuées, y compris les systèmes à panneaux solaires et batteries installés sur les toits, pour les inclure dans les marchés régionaux (FERC, 2020b). Si elle a un impact plus important dans les régions raccordées au réseau, cette ordonnance s'inscrit dans la tendance générale de la politique fédérale, qui appuie les principes du développement décentralisé de l'énergie et de la flexibilité, lesquels sont au cœur des stratégies énergétiques des collectivités éloignées.

Mexique

Reforma Energética (réforme énergétique) de 2013

La réforme énergétique de 2013 a mis en place des changements constitutionnels qui ont restructuré le secteur mexicain de l'énergie. Ces changements autorisent les investissements privés et favorisent l'accès universel à l'électricité. Cette réforme a jeté les bases du FSUE, en mettant en place un cadre juridique et institutionnel qui soutient les projets d'électrification menés par le gouvernement dans les collectivités rurales et marginalisées.

Promulguée en 2014 dans le cadre de la réforme énergétique, la *Ley del Sector Eléctrico* (Loi sur l'industrie électrique) établit la base juridique du FSUE (*Secretaría de Gobernación*, 2014). L'article 126 prévoit précisément la création d'un fonds pour l'accès universel à l'électricité destiné aux collectivités éloignées et mal desservies. Il définit les rôles du SENER et de la CFE dans la planification et l'exécution des projets d'électrification.

Réforme énergétique de 2025

Le 18 mars 2025, le *Diario Oficial de la Federación* (Journal officiel) a publié un ensemble de huit mesures législatives subordonnées qui restructurent divers éléments du secteur mexicain de l'énergie. Parmi les instruments clés, on compte la *Ley de la Empresa Pública del Estado* (Loi sur l'entreprise publique), qui vise la Commission fédérale de l'électricité (CFE), la *Ley del Sector Eléctrico* et la *Ley de Planeación y Transición Energética* (Loi sur la planification et la transition énergétiques). Ce nouveau cadre juridique établit la CFE comme une société d'État dotée de sa propre personnalité juridique et de ses propres actifs, sectorisée sous la tutelle du SENER. Il lui attribue davantage de responsabilités en matière de production, de transport, de distribution et d'approvisionnement de base en électricité, mais aussi de fourniture de services Internet et de télécommunications, à l'appui des objectifs d'accès élargi et d'équité sociale.

La *Ley del Sector Eléctrico*, qui remplace la *Ley de la Industria Eléctrica* de 2014, introduit un modèle de préférence nationale pour la production d'électricité, réservant au moins 54 % de la production à la CFE. Elle maintient des modalités spécifiques pour la participation de tiers par l'intermédiaire de la production décentralisée, de l'autoconsommation et des systèmes isolés. Les systèmes produisant moins de 0,7 MW sont exemptés de l'obligation d'obtenir un permis, et les projets d'un maximum de 20 MW peuvent exécuter des procédures simplifiées. La *Ley de Planeación y Transición Energética* crée un nouveau



cadre pour la planification énergétique nationale, imposant l'élaboration, sur une période de 15 ans, d'instruments de planification qui intègrent des considérations comme la justice énergétique, la durabilité, les droits de la personne et le développement régional.

Outre les réformes institutionnelles, cet ensemble de lois dissout la *Comisión Reguladora de Energía* (Commission de réglementation de l'énergie) et la *Comisión Nacional de Hidrocarburos* (Commission nationale des hydrocarbures), dont les fonctions sont regroupées au sein d'une nouvelle commission nationale de l'énergie. Ce nouvel organisme, chargé de la surveillance réglementaire des secteurs de l'électricité et des hydrocarbures, voit ses activités coordonnées par le SENER. Ces changements s'inscrivent dans le cadre d'une réorganisation à plus grande échelle, visant à centraliser la gouvernance du secteur de l'énergie et à harmoniser les mandats opérationnels avec les objectifs de la politique sociale.

Règles opérationnelles du FSUE

Le SENER a publié les règles opérationnelles officielles du FSUE, qui décrivent ses mécanismes de mise en œuvre (SENER, s. d.). Ces règles définissent les critères d'admissibilité, la hiérarchisation des projets (en fonction de leur impact social et économique) et les obligations des entrepreneurs en matière de rendement. Elles expliquent également comment le FSUE est financé : principalement par des allocations budgétaires fédérales et les revenus du marché de l'électricité.

